



**Universidad Autónoma del Estado de México**

---



---

**Facultad de Planeación Urbana y Regional**

**Evaluación de la calidad de suelos agrícolas en el Ejido  
de San Diego Alcalá, Temoaya, Estado de México.**

**Tesis**

**Que para obtener el Título de:  
Licenciada en Ciencias Ambientales**

**Presenta:**

**Olivia Alcántara Bruno**

**Director de Tesis:**

**Dr. en C. Gustavo Álvarez Arteaga**

**CONACYT-SEMARNAT 107956**

**Toluca de Lerdo, Estado de México; Mayo 2023.**



Índice	
Índice.....	3
Índice de tablas.....	5
Índice de figuras .....	5
Resumen .....	7
Abstract .....	7
Introducción .....	8
Planteamiento del problema.....	10
Hipótesis.....	11
Objetivos.....	11
Objetivo general .....	11
Objetivos específicos .....	11
Justificación .....	12
Capítulo I: Marco teórico- conceptual.....	19
1.1. Teoría General de Sistemas (TGS).....	19
1.1.1 Sistemas abiertos y cerrados.....	20
1.1.2 Teoría de Sistemas .....	21
1.1.3 El suelo como un sistema abierto transformador de energía .....	24
1.2. Conceptualización de suelo.....	26
1.2.1 ¿Qué es el suelo?.....	26
1.2.2 Factores de formación del suelo.....	27
1.2.3 Composición de los suelos.....	30
1.2.4 Funciones del suelo .....	31
1.2.5 Perfiles de suelo.....	32
1.3. Agricultura.....	32
1.3.1 Tipos de agricultura .....	34
1.4. Degradación de los suelos .....	34
1.4.1 ¿Qué es la degradación de suelos? .....	34
1.4.2 Degradación física del suelo.....	34
1.4.3 Degradación química del suelo.....	35
1.4.4 Etapas de la degradación del suelo.....	35
1.5. La calidad de suelos.....	35

1.5.1.	¿Qué es la calidad? .....	35
1.5.2.	Indicadores de la calidad de suelos.....	36
1.5.3.	Calidad física del suelo.....	38
1.5.4.	Calidad química del suelo .....	41
1.5.5.	Calidad biológica del suelo.....	42
Capítulo II: Caracterización física y social del Ejido de San Diego Alcalá, Temoaya, Estado de México .....		43
2.1.	Descripción de la Zona de Estudio .....	43
2.1.1.	Ubicación Geográfica .....	43
2.1.2.	Topografía.....	45
2.1.3.	Geología .....	46
2.1.4.	Geomorfología .....	47
2.1.5.	Edafología.....	48
2.1.6.	Hidrología.....	50
2.1.7.	Clima.....	51
2.1.8.	Uso de suelo .....	54
2.2.	Condiciones Sociales .....	55
2.3.	Organizaciones o instituciones presentes en la zona de estudio para el sector primario.....	61
Capítulo III: Metodología .....		62
3.1.	Etapa de preparación.....	62
3.1.1.	Identificación del área de estudio.....	63
3.1.2.	Materiales y metodos a implementar en campo .....	63
3.2.	Fase de trabajo en campo.....	64
3.2.1.	Elaboración de perfiles y toma de muestras de acuerdo a la metodología de Siebe 64	
3.2.2.	Descripción de perfiles .....	65
3.3.	Fase de trabajo en laboratorio.....	66
Capítulo IV: Resultados y Discusión de resultados .....		68
	Perfil 1: Paraje La Virgen.....	70
	Perfil 2: Paraje Universidad .....	74
	Perfil 3: Paraje Llano Grande .....	77
	Perfil 4: Paraje San Mateo Alcalá .....	81

4.1 Evaluación ecoedafológica .....	85
4.2 Fase de análisis y discusión de resultados .....	89
Capítulo V: Conclusiones y Propuestas .....	95
Bibliografía consultada.....	99
Anexos.....	103

Índice de tablas	Pág.
Tabla 1.1. Compuestos del suelo	30
Tabla 1.2: Indicadores físicos, químicos y biológicos propuestos para monitorear los cambios en el suelo	37
Tabla 2.1: Temperaturas medias cercanas al ejido de San Diego Alcalá	51
Tabla 4.1: Características físicas y químicas del perfil 1: Paraje la Virgen	70
Tabla 4.2: Características físicas y químicas del perfil 2: Paraje Universidad	75
Tabla 4.3: Características físicas y químicas del perfil 3: Paraje Llano Grande	78
Tabla 4.4: Características físicas y químicas del perfil 4: Paraje San Mateo Alcalá	82
Tabla 4.5: Evaluación Hídrica	84
Tabla 4.6: Evaluación Ecológica	86

Índice de figuras	Pág.
Figura 1.1 Estructura de un sistema	23
Figura 1.2 Representación esquemática del solúm de un pedón de tierra como sistema abierto	24
Figura 2.1 Ubicación del municipio de Temoaya y del ejido de San Diego Alcalá	44
Figura 2.2 Mapa de los puntos de muestreo en el ejido de San Diego Alcala	44
Figura 2.3 Mapa topográfico	45
Figura 2.4 Mapa de geología	46
Figura 2.5: Mapa edafológico	49
Figura 2.6: Mapa hidrológico	50

Figura 2.7: Temperaturas máximas y precipitaciones promedio cercanas al ejido de San Diego Alcalá	52
Figura 2.8: Temperaturas mínimas y precipitaciones promedio cercanas al ejido de San Diego Alcalá	53
Figura 2.9: Mapa de uso de suelo	54
Figura 2.10: Población total del ejido de San Diego Alcalá	55
Figura 2.11: PEA del ejido de San Diego Alcalá	56
Figura 2.12: Población ocupada del ejido de San Diego Alcalá	57
Figura 2.13: Población ocupada del sector primario para los años 1990 y 2000 en el Ejido de San Diego Alcalá	58
Figura 2.14: Percepción de salarios para el año 2010 en el Ejido de San Diego Alcalá	59
Figura 3.1: Diagrama de flujo para un levantamiento de suelos	61
Figura 4.1: Abaco productivo para el ejido de San Diego Alcalá	67
Figura 4.2: Densidad Aparente por el método de la probeta	90
Figura 4.3: Variaciones de pH en el suelo	91
Figura 4.4: Representación de las variaciones de CIC en el suelo	92

## **Resumen**

El suelo como recurso no renovable en nuestra escala de tiempo es un sistema que se debe conservar con sus propiedades iniciales aún con su aprovechamiento, sin embargo el hombre a través del tiempo ha venido utilizando este recurso de manera indiscriminada para sustentar las actividades que satisfagan sus necesidades; pero la sobre explotación de este recurso con métodos intensivos y bajo el uso de paquetes tecnológicos han degradado los suelos en sus tres ámbitos: físico, químico y biológico no previendo las consecuencias que esto puede acarrear sobre el desempeño de sus funciones.

Es por ello que el objetivo de este trabajo consistió en evaluar la calidad del suelo agrícola en sus ámbitos físico y químico en el ejido de San Diego Alcalá, municipio de Temoaya, con el fin de conocer cuáles han sido las propiedades edáficas más afectadas por el uso agrícola bajo esquemas de uso intensivo de maquinaria pesada y agroquímicos. Los resultados obtenidos en esta investigación indican que las propiedades físicas son las más afectadas a consecuencia del manejo actual del suelo.

Palabras clave: suelo, agricultura, evaluación, propiedades físicas y químicas

## **Abstract**

The soil as a non-renewable resource in our time scale is a system that must be preserved with its initial properties even with its use, but the man over time has been using this resource indiscriminately to support activities that meet their needs; but the overexploitation of this resource-intensive purposes, with the use of technology packages degraded soils in three physical, chemical and biological areas not foreseeing the consequences this may lead to improper handling.

That is why the aim of this study is to evaluate the quality of agricultural land in their physical and chemical areas in the suburbs of San Diego Alcala, Temoaya municipality in order to know what were the variables that have been most affected by the use of these plots for agriculture which constantly heavy machinery and chemicals used; who according to the results of physical properties are most affected.

Keywords: soil, agriculture, evaluation, physical and chemical properties

## **Introducción**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo con la finalidad de interpretar y evaluar la calidad de los suelos agrícolas ante el uso de tecnologías agrícolas; tecnologías que a través del tiempo han ido cambiando y con ello impactando en el manejo del uso del suelo.

La problemática detectada en el ejido de San Diego Alcalá a decir de los productores locales se traduce en la disminución de la producción agrícola, donde se propone que la aplicación intensiva de paquetes tecnológicos altamente demandantes en el uso de maquinaria e insumos agrícolas está implicado, lo cual ha tenido afectaciones y con ello al sistema productivo, que no solo repercuten a este sistema sino también al sistema ambiental donde se ven involucrados diversos factores tales como el suelo directamente, el agua, el viento y la biodiversidad. Ante esta situación, se identifica el interés para estudiar esta zona, lugar que posee una especial importancia para el cultivo de maíz criollo. Siendo la vocación de esta comunidad eminentemente agrícola, los pobladores requieren de alternativas que no solo beneficie a los productores sino también al sistema ambiental (conjunto de relaciones físicas, químicas y biológicas naturales).

Dentro del primer capítulo se establece una serie de conceptos que auxilia a la investigación a comprender bajo que teorías o elementos se rige el sistema productivo del maíz, esto hablando como un sistema abierto. Científicamente abarca la teoría general de sistemas (TGS), la conceptualización del suelo y que involucra al hablar del suelo, qué es calidad de suelos, cómo se mide y los tipos de degradación que sufren al presentar un manejo inadecuado. En este apartado se establece el significado de calidad de suelo en sus tres ámbitos, calidad física, química y biológica así como los indicadores con las que cada una de ellas es evaluada.

En el segundo capítulo se realiza la caracterización físicogeográfica de la zona de estudio, fundamentada con mapas temáticos (suelos, hidrología, uso del suelo, geología) que ayudan a describir el área de estudio. Así mismo, se realiza la

caracterización socioeconómica, abarcando la población total de la zona de estudio, la ocupación de esta población y su percepción salarial de acuerdo la actividad; de igual forma se señalan las organizaciones que convergen en estas localidades para el sustento de las actividades agrícolas.

Para el tercer capítulo se da a conocer la metodología con la cual se guía el trabajo de investigación y para ello se retoma a Siebe *et al.* (2006), que da a conocer parte del proceso de trabajo en campo y en conjunto con la (Soil Survey Staff, 1951) se realiza el trabajo de laboratorio. Dentro de este capítulo se incluyen los resultados del trabajo realizado, relevantes para definir la calidad de suelos agrícolas.

En el capítulo cuarto se dan a conocer los resultados del trabajo de campo y laboratorio, donde se hace una descripción detallada sobre los perfiles de suelo y sus características más sobresalientes. Se retoman los indicadores mencionados en el marco teórico y se reincorporan datos que son importantes para llevar a cabo una evaluación de calidad de suelos de acuerdo con Siebe *et al.* (2006), junto con los datos obtenidos. Aquí se discuten los resultados encontrados y que representan estos para los suelos agrícolas de la zona de estudio.

Finalmente, para el quinto capítulo se establecen las conclusiones acerca de los resultados obtenidos, los pros y contras de la metodología utilizada así como las recomendaciones para el trabajo realizado, así mismo, se dan a conocer algunas propuestas que podrían ayudar a los campesinos a dar un manejo adecuado a los suelos agrícolas.

## **Evaluación de la calidad de suelos agrícolas en el ejido de San Diego Alcalá, Temoaya, Estado de México.**

### **Planteamiento del problema**

Desde el inicio de la agricultura, el ser humano comenzó a explotar el suelo para la obtención de diversos recursos que ayudaran a satisfacer sus necesidades básicas (alimentos, fibras para vestir, entre otras) (FAO, 1999); sin embargo, el crecimiento de la población ha traído como consecuencia una mayor demanda de alimentos y por ende un mayor uso del suelo para la agricultura. La práctica de la agricultura convencional intensiva inspirada en la Revolución Verde no tomó en cuenta las experiencias y potencialidades de las técnicas utilizadas por los campesinos (Núñez, 2000), y es así que en la actualidad el uso desmedido de fertilizantes, plaguicidas, insecticidas y maquinaria agrícola, entre otros han ocasionado una degradación en el suelo afectando sus características físicas y químicas, trayendo como consecuencia en algunas ocasiones bajas en su productividad y viabilidad en su aprovechamiento a mediano y largo plazo.

Actualmente, algunos autores e investigadores consideran que la disminución en la productividad de los suelos agrícolas se debe principalmente al uso excesivo de los paquetes tecnológicos agrícolas (fertilizantes, herbicidas, maquinaria, etc.) que tienden a maximizar la producción pero, han modificado las propiedades de los suelos, teniendo como consecuencia su degradación, traducida en disminución del contenido de materia orgánica, menor actividad microbiana, disminución en la retención de humedad, baja fertilidad y elevados niveles de erosión, acarreado como consecuencias un fuerte desequilibrio ambiental y social (Nuñez, 2000).

Los suelos son importantes para la producción de alimentos y para el sustento de la diversidad de flora y fauna; sin embargo muy pocos visualizan esa importancia y las consecuencias que puede acarrear un manejo inconveniente del suelo al introducir agroquímicos que afecten los recursos naturales a largo plazo.

## **Hipótesis**

Debido al uso intensivo de la tecnología agrícola implementada en la producción de maíz, en el Ejido de San Diego Alcalá, Municipio de Temoaya, Estado de México, se han modificado algunas propiedades del suelo y con ello su capacidad productiva.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- ❖ Evaluar la calidad del suelo agrícola en el ejido de San Diego Alcalá a partir de la determinación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

### **Objetivos específicos**

- ❖ Conceptualizar las bases de la calidad del suelo.
- ❖ Caracterizar la estructura ambiental, económica y social del Ejido de San Diego Alcalá.
- ❖ Determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a partir del muestreo y análisis.
- ❖ Caracterizar las funciones ecológicas del suelo.
- ❖ Identificar los esquemas de uso y manejo del suelo en diferentes sitios de cultivo dentro del ejido de San Diego Alcalá por medio de entrevistas a los campesinos y del trabajo en campo.
- ❖ Comparar los resultados de los diferentes puntos de muestreo para detectar posibles problemáticas.
- ❖ Proponer alternativas específicas de acuerdo con los resultados obtenidos, mismas que sean viables para el ambiente y para los productores de maíz en la zona de estudio.

## **Justificación**

“Un suelo agrícola de buena calidad es aquel que tiene la capacidad de producir cultivos sanos y nutritivos en forma sostenida a largo plazo, y de promover al mismo tiempo la salud humana y animal sin detrimento de los recursos naturales base o del medio ambiente circundante” (Astier *et.al.*, 2002). Tomando esta definición como referencia para el estudio de la calidad de suelos se realizó esta investigación en el ejido de San Diego Alcalá, Municipio de Temoaya, lugar que se caracteriza por ser netamente productor de maíz. Se identificó, a través de experiencias de productores locales el hecho de que los suelos del lugar no cumplen con esta definición debido al manejo histórico que han tenido con el empleo intensivo de agroquímicos y maquinaria agrícola que tienden a impactar en algunas propiedades del suelo en detrimento de su capacidad productiva.

La importancia que tiene esta zona agrícola radica en que no solamente se cultiva maíz para el autoconsumo; sino también porque es la fuente económica principal de algunos campesinos, en consecuencia, si el suelo llegase a presentar una sensible disminución en su capacidad productiva, la población local vera afectados no solo sus ingresos; sino también podrían presentarse problemas ambientales como la degradación del suelo y la contaminación de los acuíferos a largo plazo.

De ahí la importancia que esta zona sea llevada al estudio y análisis del suelo para conocer y determinar con precisión cuál ha sido el efecto del uso de fertilizantes químicos, de herbicidas y maquinaria durante aproximadamente 150 años y qué posibilidades hay de que estos suelos al presentar alguna disyuntiva se puedan remediar con prácticas sostenibles para el ambiente y viables para los campesinos; así como cambiar algunas técnicas para el aprovechamiento óptimo de la tecnología agrícolas.

Parte de la metodología a implementar para el trabajo de investigación es la siguiente:

El levantamiento de suelos se realizó siguiendo métodos estandarizados a escalas semi-detalladas. Se tomaron como base las unidades espaciales que resultaron de la regionalización geomorfológica del ejido. Se describieron los perfiles de suelo en cada unidad de paisaje así definida y se estableció el tipo de suelo dominante de cada unidad espacial (Siebe *et.al.*, 2003)

La descripción de perfiles se realizó mediante la identificación de la secuencia de horizontes y la descripción de sus propiedades siguiendo lo prescrito por los autores antes citados. La clasificación de los suelos se hizo de acuerdo con la World Reference Base (WRB, 2006).

La importancia del suelo se visualiza desde tres enfoques, que toman en cuenta tres disciplinas con enfoques distintos; sin embargo, lo ideal es que cada uno de estos enfoques se preocupe por el menor daño posible hacia los recursos naturales procurando llegar a un punto sustentable.

#### *Enfoque de las Ciencias Ambientales*

De acuerdo a los fundamentos multidisciplinarios de las Ciencias Ambientales, y vinculándolo al objeto de investigación, se considera que debe haber un equilibrio entre el manejo del suelo como un sistema complejo y la producción de alimentos, para lo cual debe haber una protección del suelo como recurso y tomando como referencia nuestra escala de tiempo el suelo es un recurso no renovable, es por ello que debe haber un sustento y un aprovechamiento adecuado y óptimo donde las entradas y salidas de energía no degraden el sistema productivo.

#### *Enfoque Edafológico*

El enfoque edafológico dentro del tema de investigación consiste en analizar y estudiar el suelo en función de sus interacciones con el medio circundante, este

enfoque parte de la asimilación génesis, y de los procesos físicos, químicos y biológicos que en él se llevan a cabo para el sustento de la vegetación.

Es importante considerar cada uno de los componentes del suelo; pues de ello depende su capacidad para producir alimentos que demanda la población, así mismo se relaciona la calidad del mismo suelo para el uso adecuado en otras actividades sin afectar el sistema edáfico.

### *Enfoque Agronómico*

El aprovechamiento del suelo como recurso es indispensable para el ser humano y analizándolo desde el punto de vista de la agronomía es un recurso del cual depende la humanidad para el cultivo de alimentos que satisfagan a la sociedad; sin embargo, no solo consiste en la producción de alimentos sino también en una buena calidad de estos que brinde los nutrientes adecuados a los consumidores.

El modelo que se ha tenido hasta la actualidad es la intervención del hombre en la naturaleza en ecosistemas denominados como agroecosistemas, con el fin de producir alimentos y proveer de materia prima. Por ello es importante aprovechar los recursos de manera sustentable a corto y largo plazo para minimizar los problemas ambientales tomando en cuenta la relación suelo-sistema productivo.

## **Antecedentes**

Las diferentes percepciones de la calidad del suelo han surgido desde que el concepto se propuso a principios de 1990, y el diálogo entre los miembros fue importante porque, a diferencia de la calidad del aire y el agua, las normas legislativas para la calidad del suelo no han sido y tal vez no deberían ser definidos (Karlen *et.al.*, 1997).

Existen diversos autores que iniciaron la investigación de la calidad del suelo y uno de ellos fue D. L. Karlen, quien desarrollo este concepto en 1994 para la Agencia Nacional de Suelos de los Estados Unidos, donde su primordial aportación fue realizar estudios del suelo con fines agrícolas. Uno de sus principales artículos fue “La calidad del suelo: Un concepto, definición, y un marco para la evaluación” en el que junto con otros colaboradores da a conocer la importancia y parte de los indicadores para la evaluación de la calidad del suelo.

No obstante, el concepto de calidad del suelo también se remota a estudios realizados por J. W. Doran y T. B. Parkin quienes dan a conocer en 1994 el artículo titulado “Definición de la calidad del suelo para un ambiente sustentable” donde se especifican los indicadores para una adecuada evaluación del suelo. Así mismo, la FAO, la USDA e ISRIC entre otras instituciones van adquiriendo fuerza en estos temas ya que parte de sus objetivos principales es la agricultura y como hacerla de una forma sustentable, o de qué manera conseguir el mejor aprovechamiento del suelo.

El estudio de la calidad de suelos se considera un tema reciente que se ha venido investigado sobre todo en función de la producción de alimentos y la conservación de suelos forestales de manera puntual. En el ámbito internacional se han desarrollado investigaciones relacionadas con la calidad de suelos para la agricultura industrial y los principales países en estudios relacionados a este tema son Estados Unidos y la Unión Europea. Por otra parte, el tema ya no solamente se enfoca a una productividad industrial sino ahora se vincula con fines ecológicos, ya que en la actualidad los productos orgánicos están teniendo un auge bastante

importante y se busca emplear un mínimo de insumos agroquímicos en su producción. Sin embargo, dentro del tema de calidad de suelos con cultivos de maíz aquí en México resulta ser un tema importante pues el maíz es el grano que más se cultiva, -esto debido a que es la base de la alimentación en nuestro país-, y analizar la calidad de nuestros suelos para una buena productividad de maíz y otros alimentos, es conocer los factores que influyen en el suelo como sistema y que tan benéficos o perjudiciales son los paquetes tecnológicos implementados.

Tomando como referencia estudios en cuanto a calidad de suelos se presenta uno a continuación llamado: *“Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable” publicado en 2002*, donde menciona que para alcanzar la sustentabilidad de los agroecosistemas es importante contemplar el mejoramiento y conservación de la fertilidad y productividad del suelo; y lo que expone este artículo es proporcionar una serie de indicadores a los tomadores de decisiones con base a tres atributos fundamentales: productividad, estabilidad y resiliencia sobre la evolución de las propiedades del suelo cuando sea sometido a diferentes condiciones de manejo. En el trabajo experimental se hizo un estudio para la producción de maíz en condiciones de temporal y agricultura campesina en Michoacán. El objetivo fue conocer el efecto de la incorporación de abonos verdes de invierno (llamados así porque se siembra avena y leguminosas nativas en el mes de octubre y se incorporan en enero y febrero) a sistemas de producción de maíz (rotación de cultivos) y utilizar indicadores de evaluación antes y después de la incorporación de este abono. Los resultados sugieren que mediante el empleo de indicadores de calidad es posible entender cómo evoluciona el estado (capacidades y propiedades) de los suelos bajo determinados sistemas de manejo particularmente para una agricultura sustentable (incorporación de abonos verdes).

Fortaleciendo este tema de investigación se proporciona otro ejemplo del estudio de calidad de suelos citado como: *“La calidad de suelos de ladera a partir del conocimiento de agricultores de Caldon en el Suroeste de Colombia” publicado por la “Revista Agronomía Colombiana” de la Universidad Nacional de Colombia*. El

propósito de este estudio fue conocer la calidad de Inceptisoles<sup>1</sup> en paisajes de ladera mediante la interrelación entre el conocimiento empírico de las tierras por parte de los agricultores locales y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Los agricultores de la microcuenca Potrerillo, municipio de Caldon (Cauca, Colombia) diferenciaron tres categorías culturales: 'tierra brava', 'tierra cansada' y 'tierra buena'<sup>2</sup>. Por otra parte, se tomaron muestras de suelo a una profundidad entre 0 y 20 cm en esas tres fracciones culturales y bajo dos usos: café con sombrío y bosque, con cuatro réplicas para un total de 16 muestras. Se evaluó color, porcentaje de arcillas, tamaño y estabilidad de los agregados, nitrógeno mineral ( $N-NO^3 + N-NH^4$ ), carbono total, fraccionamiento de materia orgánica, pH, fósforo disponible y cationes intercambiables (K, Ca, Mg, Al). Los datos se procesaron estadísticamente usando análisis de varianza, prueba Duncan, correlaciones y análisis de componentes principales. Se encontró que los agricultores consideraron como 'tierra buena' aquella que presentaba las mejores condiciones del horizonte superficial, expresadas en una mayor densidad de miriápodos<sup>3</sup>, colores pardos oscuros y mayores contenidos de N mineral, C total y fracción liviana de materia orgánica. Las tierras de menor calidad presentaban cambio de colores, disminución en el contenido de las anteriores variables y deterioro de los agregados.

Considerando los dos artículos anteriores es fundamental realizar una evaluación de suelos agrícolas con cultivos de maíz aquí en México, pues al ser una producción del cual depende la población mexicana es importante conocer e innovar en este sentido sobre todo para asegurar la alimentación de todo un país.

La calidad y salud del suelo no son conceptos tan diferenciados ya que ambos aluden a lo mismo, pues algunos autores los manejan de diferente forma y al

---

<sup>1</sup>Suelos húmedos, incipientes, poco evolucionados y con cierta acumulación de materia orgánica

<sup>2</sup>La Tierra brava es cuando está en su estado natural sin ninguna alteración, la tierra cansada es cuando ha sido alterada por algún manejo, tierra buena es aquella que le han aplicado algún manejo pero como tal no ha perdido todas sus propiedades naturales.

<sup>3</sup>Grupo de invertebrados que tienen el cuerpo segmentado y en forma de gusano, están dotados de muchas patas, ej. Los milpiés.

momento de análisis con otros indicadores, sin embargo, ambos son conceptos que ayudan a la investigación de los suelos (Delgado, 2010).

Los antecedentes que se han tenido en cuanto a calidad de suelo a nivel internacional y nacional permiten establecer que la realización de este tema de investigación no comienza de cero, sin embargo si es importante considerar que los indicadores retomados para la evaluación de suelo se acoplaron a lo que la zona de estudio presenta, así mismo se tomarán diferentes indicadores conforme al tipo de suelo, a la topografía, tipo de cultivo y a la tecnología agrícola que se ha implementado, al igual que el tiempo de manejo.

## Capítulo I: Marco teórico- conceptual

### 1.1. Teoría General de Sistemas (TGS)

De acuerdo con Ludwig von Bertalanffy (1968), “La Teoría General de los Sistemas (TGS) es una ciencia general de la totalidad aplicable a las varias ciencias empíricas, donde existen modelos, principios y leyes aplicables a sistemas generalizados o a sus subclases, sin importar su particular género, la naturaleza de sus elementos y las relaciones o fuerzas que imperen entre ellos”.

El mundo en el que nos encontramos es un sistema bastante complejo donde el hombre a través de los años ha aprendido a manipularlo para su aprovechamiento y de esta forma evolucionar hasta lo que somos hoy en día. Debido a su complejidad el ser humano ha creado una serie de teorías y leyes para ajustarlas a los sistemas generales donde lo que se busca es organizar una apariencia de desorden para su mejor manipulación, esto no sin importar su afiliación política, regional, geográfica o de otro tipo (Van Gigoh, 1987).

Transcribiendo a Van Gigoh (1987), *“un sistema es una reunión o conjunto de elementos relacionados, elementos que pueden ser conceptos, así mismo los elementos de un sistema pueden ser objetos y a su vez los elementos pueden ser sujetos”. Por lo tanto, un sistema es un agregado de entidades, viviente o no viviente o ambas que a su vez se subdividen en subsistemas y que constantemente están interactuando entre sí.*

Por otro lado, para integrar el concepto antes mencionado y reforzar lo que es un sistema a continuación se presenta otro concepto que nos indica que (Ackoff, 1974), (Checkland, 1993), (Sánchez, 1994):

*“Es una unión de partes o componentes, conectados en una forma organizada” “las partes se afectan por estar en el sistema y se cambian si lo dejan”, “un sistema puede existir realmente como un agregado natural de partes componentes*

*encontradas en la naturaleza o esta puede ser un agregado inventado por el hombre”*

Traduciendo los conceptos anteriores de lo que es un sistema en el suelo, -objeto de estudio de esta tesis- se puede percibir que éste, es un sistema encontrado en la naturaleza al cual se le han agregado elementos artificiales creados por el hombre, que poco a poco afectan al sistema alterando sus propiedades y funciones originales.

Para llevar a cabo la aplicación de la teoría general de los sistemas (TGS) es necesario estudiar no solo las partes y procesos aislados, sino también resolver los problemas decisivos hallados en la organización y el orden que los unifican, resultantes de la interacción dinámica de partes y que hacen el diferente comportamiento de estas cuando se estudian aisladas o dentro del todo (Bertalanffy, 1968).

Para poder definir y aplicar la teoría de sistemas a ejemplos más tangibles de la realidad, es necesario desarrollar modelos ajustados al contexto que se tiene, ya que a pesar de tomar como base esta teoría, es importante aterrizarlo a nivel local o regional de tal forma que permita visualizar el propio sistema y sus interacciones. El modelo a considerar dentro del sistema del suelo es el de un sistema abierto

#### 1.1.1 Sistemas abiertos y cerrados

Existen los sistemas abiertos que son aquellos que se caracterizan por su continua incorporación y eliminación de materia, constituyendo y demoliendo componentes sin alcanzar, un estado de equilibrio químico y termodinámico, sino manteniéndose en un estado llamado uniforme (steady) que difiere de aquel (Bertalanffy, 1968).

Los sistemas cerrados pueden alcanzar un estado final inequívocamente determinado por las condiciones iniciales y a diferencia de los sistemas abiertos estos pueden alcanzar un estado final partiendo de diferentes condiciones iniciales

y por diferentes caminos lo que está determinado por el principio de la equifinalidad<sup>4</sup> (Van Gigoh J, 1987).

### 1.1.2 Teoría de Sistemas

El suelo es un sistema complejo que comprende diversos elementos vivos y no vivos que están conectados entre sí cumpliendo con funciones específicas dentro de un subsistema que a su vez se encuentra dentro de un sistema más general comprendida por la litosfera y las relaciones del planeta Tierra. Dentro de los elementos del suelo se encuentran las características físicas tales como su estructura, la textura y su color; químicos como el pH, capacidad de intercambio catiónico, etc. y biológicos como los microorganismos que aportan características para la formación del suelo que están constantemente interactuando, cumpliendo con su función específica hasta encontrar un punto de equilibrio, dando como resultado el sustento de la vegetación.

Los elementos que componen al suelo tienen una organización muy definida y coherente, que si bien en ocasiones no se puede explicar no es porque no se conozca del tema, sino porque al ser un sistema muy dinámico existen diversos factores que pueden modificar la estructura física, química y biológica del suelo, y al modificarse o cambiar, en automático cambia todo por la relación que tiene uno con el otro.

Los sistemas se definen por los siguientes conceptos (Van Gigoh, 1987):

#### **Elementos**

Los elementos son los componentes de cada sistema y estos pueden a su vez ser sistemas por derecho propio, es decir subsistemas. Los elementos de sistemas pueden ser inanimados (no vivientes) o dotados de vida (vivientes); sin embargo, la mayoría de los sistemas con los cuales tratamos, son agregados de ambos. Los

---

<sup>4</sup>Indica que en el sistema cerrado si las condiciones iniciales cambian las condiciones finales también, en cambio en los sistemas abiertos se puede llegar al mismo estado no importando si las condiciones iniciales se modificaron o si durante el proceso se modifican.

elementos que entran al sistema se llaman *entradas* y los que lo dejan son llamados *salidas* o *resultados*.

### **Proceso de conversión**

Los sistemas organizados están dotados de un proceso de conversión por el cual los elementos del sistema pueden cambiar de estado; de un estado de entrada a salida de elementos. En un sistema con organización, los procesos de conversión generalmente agregan valor y utilidad a las entradas al convertirse en salidas.

### **Entradas y recursos**

La diferencia entre entradas y recursos es mínima y depende del punto de vista y circunstancia. En el proceso de conversión las entradas son generalmente los elementos sobre los cuales se aplican los recursos. Cuando se identifican las entradas o recursos empleados en el sistema, es importante especificar si están o no bajo control del diseñador de sistema; es decir, si pueden ser considerados como parte del sistema o parte del medio. Cuando se evalúa la eficacia de un sistema para lograr sus objetivos, las entradas y los recursos se consideran como costos.

### **Salidas o resultados**

Las salidas son los resultados del proceso de conversión del sistema y se cuentan como resultados, éxitos o beneficios.

### **El medio**

Es el establecimiento de los límites del sistema. Es imperativo decidir sobre los límites de los sistemas cuando se estudian sistemas abiertos (vivientes) dado que son sistemas que interactúan con otros sistemas que no pueden ignorarse por las interacciones con el medio.

## **Propósito y función**

Cada elemento adquiere un propósito o función específicos cuando entran en relación con otros subsistemas en el contexto de un sistema más grande.

## **Atributos**

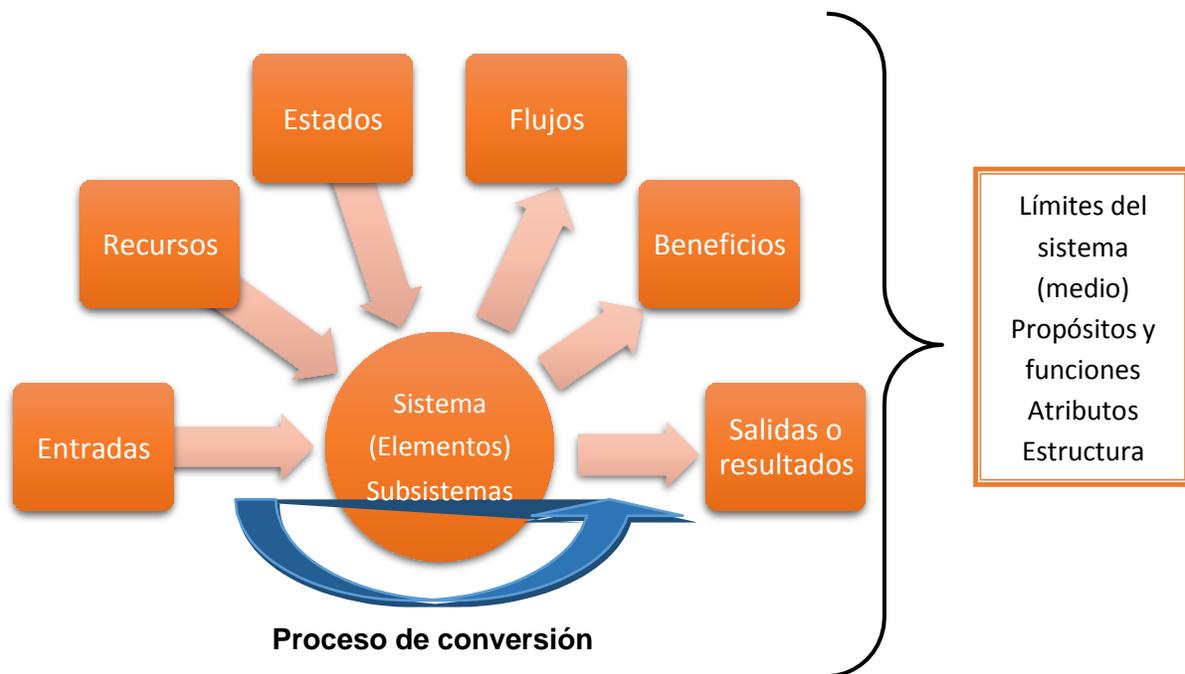
Los sistemas, subsistemas y sus elementos están dotados de atributos o propiedades, los atributos pueden ser cuantitativos o cualitativos y esta diferencia determina el enfoque a utilizarse para medirlos.

## **Estructura**

Se relaciona con la forma de las relaciones que mantienen los elementos del conjunto. La estructura puede ser simple o compleja, dependiendo del número y tipo de interrelaciones entre las partes del sistema.

## **Estados y flujos**

El estado de un sistema se define por las propiedades que muestran sus elementos en un punto en el tiempo. La condición de un sistema está dada por el valor de los atributos que lo caracterizan y los cambios de un estado a otro, por los que pasan los elementos del sistema dando surgimiento a flujos.



Fuente: elaboración propia con base en el libro "Teoría General de Sistemas" (Bertalanffy, 1968)

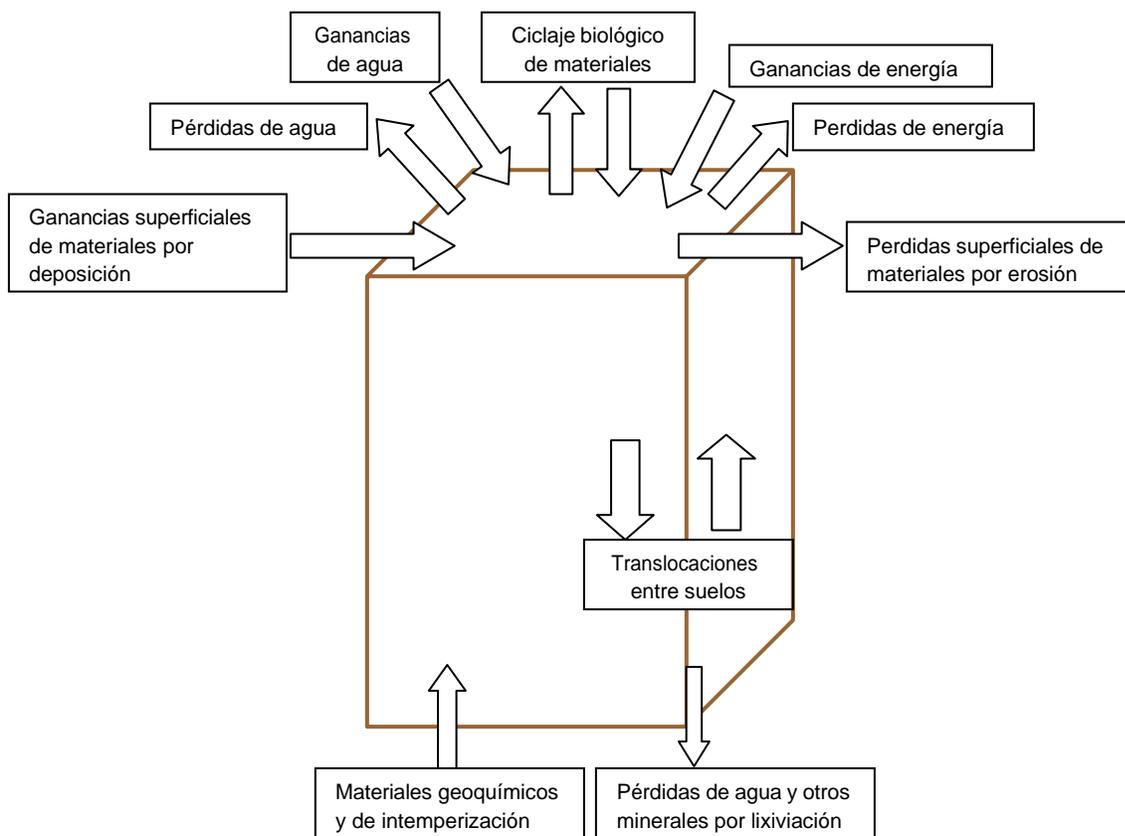
**Figura 1.1 Estructura de un sistema**

Tomando en cuenta los conceptos anteriores es fácil identificar al suelo ya no como un simple recurso natural, sino más bien como un sistema de producción que constantemente registra flujos de materia y energía (energía solar, agua, fertilizantes, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), entre otras), donde las funciones específicas de cada elemento transforman esta energía teniendo como resultado la producción de biomasa que es aprovechada por los seres vivos.

Dentro del sistema edáfico la estructura es compleja, por tanto, no solamente existe una sola relación sino varias relaciones que hacen al suelo más productivo y a su vez más propenso de sufrir alteraciones si llega a cambiar la estructura inicial.

### 1.1.3 El suelo como un sistema abierto transformador de energía

El suelo es una entidad que evoluciona, conservada en un flujo de materiales geológicos, biológicos, hidrológicos y meteorológicos.



Fuente: retomado del libro "Génesis y clasificación de suelos" (Buol S.W, 1990).

**Figura 1.2 Representación esquemática del solum<sup>5</sup> de un pedón<sup>6</sup> de tierra como sistema abierto**

Los cuerpos de suelos individuales y sus correspondientes horizontes individuales juegan papeles diferentes debido a la distribución desigual de materiales (Buol, 1990); sin embargo, a pesar de llegar a ser individuales tienen un grado de relación que caracteriza al suelo como sistema.

El suelo tiene un ciclo de entradas y salidas. Una vez que hayamos definido un cuerpo de suelos por medio de un mapa, una fórmula, una carta morfológica y de organización y una descripción podemos considerar el suelo como una entidad que

<sup>5</sup>Solum: zona del suelo más activa biológicamente en donde crecen raíces y plantas.

<sup>6</sup>Pedón: unidad tridimensional más pequeña del suelo que va de 1 a 10m<sup>2</sup>.

evoluciona en medio de procesos complejos y perpetuamente dinámicos que incluyen:

- I. Intercambio dentro del suelo y de éste con el medio de materiales como oxígeno, agua y CO<sub>2</sub>
- II. Respuestas de control automático como por ejemplo la expansión y contracción de masas de arcilla en un suelo.
- III. Producción y consumo de nuevos materiales orgánicos y minerales (Buol S.W, 1990).

Por el dinamismo que presenta el suelo y las interacciones con el medio, el suelo y el paisaje cambian continuamente desde el punto de vista físico, químico y biológico. Los físicos han estudiado los suelos y sus cubiertas vegetales como transformadores de energía receptores y transmisores de la energía radiante del sol y la que emana del interior de la Tierra. Las transformaciones energéticas se efectúan en el suelo por hidratación y secado, calentamiento y enfriamiento, evapotranspiración e intemperización, erosión (incluyendo lixiviación) y deposición de material. El calor y la luz son transformados por medio de la evapotranspiración, la fotosíntesis y la descomposición, acciones llevadas por la vegetación (Buol S.W, 1990).

Todo elemento juega un papel importante dentro del sistema edáfico que contribuye a la calidad de un suelo, sin embargo, con el paso del tiempo y el aprovechamiento de este recurso natural el hombre ha modificado las características físicas, químicas y biológicas que han alterado el sistema trayendo como consecuencia problemas ambientales y económicos.

## 1.2. Conceptualización de suelo

### 1.2.1 ¿Qué es el suelo?

El suelo es un sistema altamente complejo y dinámico, constituido por una capa superficial, relativamente delgada, de material más o menos dispersa que se encuentra sobre la litosfera. De este material depende en buena parte el crecimiento

de las plantas y la alimentación de los seres vivos que habitamos la superficie terrestre (Narro, 1994).

Así mismo, Doran *et. al.*, (1999) definen al suelo como un recurso viviente, dinámico y no renovable, cuya condición y funcionamiento es vital para la producción de alimentos, y para el mantenimiento de la calidad ambiental local, regional y global.

Complementando los conceptos anteriores Siebe *et. al.* (2006). “menciona que el suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre y sobre la cual la acción conjunta de las condiciones atmosféricas y la actividad de los organismos modifican las propiedades de los materiales rocosos de la litosfera”.

Los conceptos antes mencionados demuestran que el suelo más que un recurso de aprovechamiento funge como todo un sistema complejo y dinámico que debe ser conservado y preservado con sus características iniciales, ya que no solamente el ser humano depende del él, sino también una serie de microorganismos y otros sistemas y funciones vitales que forman subsistemas dentro de todo un sistema.

#### 1.2.2 Factores de formación del suelo

Un factor de formación de suelos es un agente, una fuerza, una condición, una relación o una combinación de ellos que afecta, ha afectado o puede influir en un material original del suelo con potencial para cambiarlo (Buol S.W, 1990).

La investigación resultante puede ser obtenida de una combinación de mediciones en campo, de registros climáticos, observaciones en campo y evaluación de mapas, de la topografía, geología y geomorfología; así mismo para la vegetación y el uso de la tierra, se reportan las condiciones actuales.

Existen diversos factores que influyen en la formación de los suelos, sin embargo, dentro de este proceso los más importantes son los siguientes:

### *Roca madre o materia original:*

La modificación de los materiales de la litosfera ha generado una capa muy delgada pero muy importante para funciones transcendentales en los ecosistemas.

Jenny (1941) definió al material original como el estado inicial del sistema edáfico. Los materiales originales se componen de materia mineral y orgánica, o por una mezcla de ambas que puede comprender rocas y diversos sedimentos no consolidados. Las rocas pueden ser ígneas, metamórficas o sedimentarias (FitzPatrick, 1996).

### *Topografía o Relieve:*

La topografía (relieve) se refiere a cualquier componente o rasgo físico de la superficie terrestre que ha sido formado por procesos naturales y que tiene una forma o cuerpo diferente; así mismo, esta influye en el suelo a través del drenado, de la cantidad de humedad en el mismo y de la profundidad de los suelos (FitzPatrick, 1996). La topografía se refiere a la configuración de la superficie de la tierra descrita en cuatro categorías: La geoforma principal, que se refiere a la morfología de todo el paisaje; la posición del sitio dentro el paisaje; la forma de la pendiente y el ángulo de la pendiente (FAO, 2009).

### *Clima:*

Las condiciones climáticas del sitio son propiedades importantes que influyen el crecimiento de las plantas y la formación de suelos (FAO, 2009).

El clima es un factor que determina el tipo y la velocidad de formación del suelo; además limita la distribución de la vegetación. El clima de un lugar es la descripción de las condiciones atmosféricas prevalecientes; y se define como el promedio de sus componentes de los cuales la temperatura y precipitación son los más importantes (FitzPatrick, 1996).

Tan importante como el clima atmosférico es el clima del suelo, el cual guarda estrecha relación con el atmosférico y que se manifiesta por los regímenes, hídricos, térmico y gaseoso del suelo. Estos regímenes son los que regulan el grado de intemperismo del suelo y la disponibilidad de aire, agua y calor de las plantas (Ascanio *et.al.* 2006).

#### *Actividad biológica:*

Los organismos que habitan en el suelo son de suma importancia para la génesis del suelo, pues las interacciones que se llevan a cabo en él permiten que el suelo evolucione con mayor rapidez para su formación. La edafogénesis es el resultado de la acción combinada de factores bióticos y abióticos (Porta, 1999).

Casi todos los organismos que viven en la superficie de la Tierra o dentro del suelo afectan de una o de otra manera el desarrollo de los suelos. Los organismos que pueden influir dentro y fuera del suelo son las plantas superiores, los microorganismos, vertebrados y mesofauna (FitzPatrick, 1996), sin embargo yo incluiría a un organismo más: el Hombre.

El hombre con sus actividades como la agricultura, la tala, la contaminación por residuos industriales entre otros, pueden modificar las características físicas y químicas del suelo ocasionando a futuro una degradación.

Las plantas superiores influyen sobre el suelo actuando como retenes que impiden la erosión, aportan materia orgánica a la superficie del suelo y extraen el agua y los nutrientes de la masa del suelo que bajo condiciones naturales la mayoría de los nutrientes regresan a la superficie en forma de materia orgánica (FitzPatrick, 1996).

El ciclo biológico <suelo-plantas-microorganismos-suelo> de las sustancias se produce en forma constante e interrumpidamente por medio de las plantas y los microorganismos. Las primeras se apoyan en la nutrición mineral, que conjuntamente con la toma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera y del agua utilizan la energía solar y crean la parte orgánica de los vegetales como son

proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y otros. Los segundos descomponen la materia orgánica de los residuos vegetales y desperdicios de los animales regresando al suelo los elementos minerales, creando así una constante de las sustancias(Ascanio *et.al.* 2006).

#### *Tiempo:*

El tiempo es un gran influyente para la formación de suelos. Dentro de la edafología se puede hablar de suelos jóvenes y maduros que están determinados por el tiempo de evolución que han tenido (Buol S.W, 1990), sin embargo, hay algunos suelos que pueden ser jóvenes pero por el clima en el que se encuentran pueden aparentar ser más evolucionados.

El tiempo constituye el intervalo o periodo durante el cual los procesos formadores producen las características morfológicas que permiten diferenciar evolutivamente los suelos entre sí. Los suelos que no presentan horizontes claramente diferenciables se consideran suelos inmaduros o recientes, ya que los factores formadores de suelo no han actuado lo suficiente para permitir la diferenciación; mientras que los que presentan una clara diferenciación de horizontes y permiten el diagnóstico de los procesos pedogenéticos que se consideran más evolucionados para llegar a sus características actuales(Nuñez, 2000).

#### 1.2.3 Composición de los suelos

Los suelos están compuestos por una serie de partículas sólidas como los minerales y la materia orgánica, de agua y aire que dan como resultado un gran dinamismo en el suelo y algunas propiedades para funcionar como un sistema complejo. Un suelo cultivado promedio contiene aproximadamente (ver tabla 1.1):

**Tabla 1.1: Constituyentes del suelo**

Compuesto	Porcentaje
Minerales	45%
Materia orgánica incluyendo a los seres vivos	5%
Agua	15-35%
Aire	15-35%

Fuente: Elaboración propia con base en (Narro, 1994)

#### 1.2.4 Funciones del suelo

El suelo como ya se ha venido expresando a lo largo de este capítulo es un sistema complejo y muy dinámico donde interactúan diversos factores para dar lugar a diferentes funciones que permiten un equilibrio dentro del mismo. El suelo, aunque únicamente abarca una proporción pequeña de la corteza terrestre (entre 30 y 120 cm mayoritariamente), cumple con importantes funciones en los ecosistemas (Schlichting, 1978), (Brady N & Weill, 1996)(Bautista *et.al.* 2004):

- (1) Promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible);
- (2) Atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental);
- (3) Favorecer la salud de plantas, animales y humanos;
- (4) Da soporte a las plantas y las abastece con agua, oxígeno y nutrientes;
- (5) Es hábitat de numerosos organismos, desde especies de la microflora y fauna, hasta especies de mesofauna (lombrices, hormigas, ácaros, colémbolos, entre otros) y macrofauna (como mamíferos, aves y reptiles);
- (6) Funge como regulador del ciclo hidrológico, dado que permite la infiltración del agua pluvial y retiene una parte de la misma contra la fuerza de gravedad en el espacio radical de las plantas, mientras que filtra la otra parte para destinarla a la recarga del acuífero;

- (7) Los procesos bioquímicos que ocurren en el suelo transforman la hojarasca y los cadáveres de animales en compuestos más simples, con lo que se reciclan los nutrientes que los componen y
- (8) El suelo da soporte físico a la infraestructura y sirve como depósito de desechos producto de las diversas actividades humanas.

Al desarrollar este concepto, también se ha considerado que el suelo es el sustrato básico para las plantas ya que capta, retiene y emite agua; y es un filtro ambiental efectivo que actúa como buffer ante situaciones críticas de contaminantes hasta cierto límite donde descompone el exceso (Buol, 1990).

#### 1.2.5 Perfiles de suelo

Los suelos desarrollan capas distintas a diversas profundidades bajo la superficie llamados horizontes. Una sección vertical del suelo para exponer la disposición de sus capas recibe el nombre de perfil. La capa superior suele ser más rica en materia orgánica y de color más oscuro que las inferiores, sin embargo esto puede variar de acuerdo a su evolución o por sus condiciones climáticas (Thompson & Troeh, 2002).

### 1.3. Agricultura

De acuerdo con el INEGI (2010), la agricultura es el cultivo de diferentes plantas, semillas y frutos, para proveer de alimentos al ser humano o al ganado y de materias primas a la industria.

Por otra parte (Astier, Mass, & Etchevers, 2002) consideran a la agricultura como el conjunto de técnicas y conocimientos para cultivar la tierra y quienes se encargan de ello son el sector primario como los campesinos rurales. En ella se engloban los diferentes trabajos de tratamiento del suelo y los cultivos de vegetales. Comprende todo un conjunto de acciones humanas que transforma el medio ambiente natural, con el fin de hacerlo más apto para el crecimiento de las siembras.

De acuerdo con la FAO (2010), los terrenos tienen características como las siguientes:

- **Clima** (humedad y temperatura).
- **Suelo** (profundidad, capacidad para retener agua, pH y contenido mineral).
- La **inclinación** del terreno (si es muy inclinado no permite el uso de maquinaria y se erosiona fácilmente, porque se desliza).
- Y la **altitud** (a mayor altura la temperatura baja y hay más viento).

De acuerdo con la combinación de esas características, hay terrenos que poseen diversos índices de calidad para la siembra (INEGI, 2010).

- Para siembra todo el año mediante sistemas de riego; se puede usar maquinaria; no hay heladas, nevadas o inundaciones.
- Para siembra sólo en temporadas; se puede usar maquinaria; hay heladas, nevadas o inundaciones.
- Para siembra todo el año mediante sistemas de riego; no admiten el uso de maquinaria, pero sí la ayuda de animales; no hay (o son mínimas) las heladas, nevadas o inundaciones.
- Para siembra sólo en temporadas; no se puede usar maquinaria, pero sí la ayuda de animales; las heladas, nevadas o inundaciones la limitan a una siembra al año.
- Permiten dos siembras al año, sin embargo, no admiten el uso de maquinaria, ni de animales, sólo herramientas manuales; no hay heladas.
- Para siembra por temporada; en éstos no se puede usar maquinaria, ni ayuda de animales, únicamente herramientas manuales; la cantidad de lluvia sólo permite una siembra al año.
- No aptos para uso agrícola porque no permiten el desarrollo de ningún cultivo, tienen suelos poco profundos y pedregosos, con alto contenido de sales, e inundaciones que duran más de 8 meses por año.

### 1.3.1 Tipos de agricultura

De acuerdo al abastecimiento de agua (INEGI, 2010):

**De riego.** Es cuando hay disponibilidad de agua a través de canales, u otros sistemas de riego artificial y permite la siembra, al menos dos veces al año.

**De temporal.** Depende exclusivamente de las lluvias y permite sembrar una vez al año.

#### **De acuerdo a su finalidad:**

De **subsistencia.** Es la que alcanza para el consumo del agricultor y su familia; emplea técnicas tradicionales y depende de la lluvia

**Comercial.** Se realiza con maquinaria, semillas mejoradas y fertilizantes. Utiliza riego artificial y obtiene buenas cosechas para vender.

## 1.4. Degradación de los suelos

### 1.4.1 ¿Qué es la degradación de suelos?

La degradación del suelo se refiere a los procesos inducidos por las actividades humanas que provocan la disminución de su productividad biológica o de su biodiversidad, así como de la capacidad actual y/o futura para sostener la vida humana (Oldeman, 1998).

### 1.4.2 Degradación física del suelo

La degradación física se refiere a un cambio en la estructura del suelo cuya manifestación más conspicua es la pérdida o disminución de su capacidad para absorber y almacenar agua (SEMARNAT, 2009). La erosión hídrica y eólica son los principales tipos de erosión física, ya que es el tipo específico dominante de la pérdida de suelo superficial.

#### 1.4.3 Degradación química del suelo

La degradación química involucra procesos que conducen a la disminución o eliminación de la productividad biológica del suelo y está fuertemente asociada con el incremento de la agricultura (SEMARNAT, 2009).

La pérdida de suelo superficial es el tipo dominante de erosión hídrica y tiene diversos efectos fuera de sitio, como son la remoción de nutrientes y de materia orgánica y con ello la eutrofización de cuerpos de agua superficiales.

#### 1.4.4 Etapas de la degradación del suelo

La degradación de los suelos esta dada por diversos factores, sin embargo, la (FAO,2000) estipula que esta degradación ocurre en tres etapas:

**Etapa 1:** las características originales del suelo son destruidas gradualmente, la degradación es poco perceptible debido a la poca intensidad de los procesos y al mantenimiento de la productividad por el uso de correctivos y fertilizantes.

**Etapa 2:** ocurren pérdidas acentuadas de la materia orgánica del suelo con fuerte daño de la estructura. Hay además encostramiento superficial, compactación subsuperficial que impide la filtración del agua y la penetración de raíces. De esta forma la erosión se acentúa y los cultivos responden menos eficientemente a la pérdida de correctivos y fertilizantes.

**Etapa 3:** el suelo esta intensamente dañado, con gran colapso del espacio poroso. La erosión es acelerada y hay dificultad de operación de la maquinaria agrícola. La productividad cae a niveles mínimos.

### 1.5. La calidad de suelos

#### 1.5.1. ¿Qué es la calidad?

La calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, sin embargo, no siempre son considerados sinónimos (Doran & Parkin, 1994). La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (Carter *et.al.* 1997), mientras que la salud del suelo constituye el estado de

las propiedades dinámicas del mismo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular (Romig *et.al.* 1995).

Anteriormente el concepto de la calidad del suelo fue comparado con el de la productividad agrícola por la poca diferenciación que se hacía entre tierras y suelo Bautista *et.al.* (2004); y Doran y Parkin (1994) definieron como tierras de buena calidad aquéllas que permitían maximizar la producción y minimizar la erosión; fue por ello que con base en eso se concibieron ideas respecto a la calidad de suelos.

Poco después Karlen *et.al.* (1997) definió la calidad del suelo como “la capacidad específica del mismo para funcionar, dentro de los límites de los ecosistemas naturales o manejados, para sostener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire, y apoyar a la salud humana y el hábitat”.

La calidad del suelo ha sido percibida de muchas formas desde que este concepto se popularizó hace un par de décadas, y ha sido relacionado con la capacidad del suelo para funcionar, esto incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental (Bautista Cruz *et.al.*, 2004). Paralelamente, la calidad del suelo es una herramienta que ofrece la oportunidad de comprender la utilidad y aprovechamiento de este recurso de una manera más sostenible y lo que recomienda Doran *et.al.* (1996) es que la calidad del suelo debe ser evaluada en base a la función del suelo.

#### 1.5.2. Indicadores de la calidad de suelos

Para que se lleve a cabo un estudio de la calidad del suelo es importante considerar los siguientes aspectos (Lal, 1999):

- Importancia del suelo para los ecosistemas y la salud
- Importancia biológica del suelo
- Funciones que debe desarrollar un suelo: agrícolas, medio ambientales, forestales, urbanas, recreativas, etc.

- Indicadores cuantitativos de la calidad: físicos, químicos, biológicos, ecológicos
- Impactos de una mala gestión del suelo
- Degradación o rehabilitación de suelos
- Sostenibilidad del desarrollo en relación con la calidad del suelo
- Beneficios de una buena gestión de suelos: productividad, calidad ambiental, salud, calidad de los alimentos
- Respuesta de los suelos a los cambios en su gestión y manejo y resistencia a los estrés derivados de fuerzas naturales o prácticas agrícolas
- Necesidad de una legislación y normativas para preservar la calidad
- Educación ambiental: hacer llegar al público qué es el suelo y qué papeles desempeña

No obstante para medir cuantitativamente la calidad de suelo se han diseñado una serie de indicadores con parámetros que ayudan a establecer de manera concreta la calidad del suelo.

Dentro de estos indicadores encontramos los parámetros físicos, químicos y biológicos (ver tabla 1.2):

**Tabla 1.2: Indicadores físicos, químicos y biológicos utilizados para evaluar la calidad del suelo**

Indicadores Físicos	Indicadores Químicos	Indicadores Biológicos
Textura	Materia orgánica (Carbono (C) y Nitrógeno (N) total)	C y N de la biomasa microbiana
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces	pH	Respiración, contenido de humedad y temperatura
Infiltración	Conductividad eléctrica	N potencialmente mineralizable
Densidad aparente	Potasio (K), Nitrógeno (N) y Fósforo (P) extractables	
Capacidad de retención de agua		
Agregación		

Fuente: elaboración propia con base en (Bautista Cruz, *et.al.*, 2004), (Etchevers *et.al.* 2009)

El conjunto de indicadores anteriores son herramientas de análisis que permiten comprender de manera simple y clara los fenómenos complejos para su evaluación, esto con el propósito de facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional. Según Bautista *et.al.* (2004) establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

### 1.5.3. Calidad física del suelo

La calidad física del suelo es aquella que refleja la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad (Bautista *et.al.*, 2004).

Sin embargo, para comprender con mayor detalle cada uno de los indicadores que se toman en cuenta para la calidad física del suelo a continuación se definen:

**Color:** es una de las características morfológicas más importantes, es la más obvia y fácil de determinar (Soil Survey Division Staff, 1999), permite identificar distintas clases de suelos y es el atributo más utilizado en la separación de horizontes ya que tiene una estrecha relación con los principales componentes sólidos de este recurso. Los factores que influyen en la apreciación del color son la calidad e intensidad de la luz, la rugosidad de la superficie reflectora y la humedad de la muestra (Ovalles, 2003), (Siebe *et.al.*, 2006).

**Textura:** indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo. Los nombres para las clases de tamaño de partícula corresponden con la terminología estándar, comúnmente utilizada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), (FAO, 2009).

**Densidad aparente:** se define como el peso de una unidad de volumen de suelo que incluye su espacio poroso. Refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los mismos (expresa la compactación y facilidad de circulación de agua y aire) ya que permite evaluar su balance hídrico y de nutrientes; así como la relación de su permeabilidad y profundidad fisiológica (Siebe *et.al.* 2009) (FAO, 2009).

**Estructura del suelo:** se refiere a la organización natural de las partículas del suelo en unidades de suelo discretas, agregados o peds que resultan de procesos pedogenéticos. Los agregados están separados entre sí mediante poros o vacíos (FAO, 2009). La estructura del suelo es el resultado dinámico de muchos factores y procesos abióticos y bióticos; en ambiente naturales los principales factores formadores de la estructura son la textura, materia orgánica, organismos del suelo, profundidad de la capa de agua y condiciones climáticas (Kooistra & Tovey, 1994). La estructura del suelo se evalúa determinando el grado de agregación, la estabilidad de agregados y la naturaleza de los espacios de poros, caracteres que cambian con el laboreo de la tierra y los sistemas de cultivo (Gutiérrez *et.al.*, 2002).

**Estabilidad de los agregados:** es la cualidad que posee una estructura determinada para persistir en el tiempo, soportando la acción de factores internos y externo al suelo (Kay, 1990). Determina por un lado la penetrabilidad de las raíces y por el otro la resistencia a la destrucción y consecuentemente a su erosión por viento y agua (Siebe, *et.al.*, 2006).

**Porosidad y retención de agua:** la porosidad del suelo se mide por la relación entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total (VPT). Los poros incluyen las grietas que se desarrollan con la sequedad, los espacios entre partículas y agregados, los huecos que dejan raíces y animales, etc.; y la importancia de estos radica en el drenaje interno y la aireación del suelo (Siebe, *et.al.* 2006), (De la Rosa, 2008).

**Infiltración:** es la entrada del agua al suelo, a través de la interfase suelo-atmósfera (Narro, 1994). Es la propiedad que evalúa la velocidad de entrada del agua al suelo y es un parámetro crítico cuando se elaboran diseños de riego, pues ella define cuánto tiempo debe permanecer el agua sobre la superficie del suelo para que haya un adecuado humedecimiento, si se trata de riego superficial, o limita los caudales de aplicación en sistemas de aspersión (Jaramillo J., 2002).

**Capacidad de aireación (CA):** constituye el porcentaje en la cual el aire puede moverse a través de los poros.

**Capacidad de agua disponible (dCC):** representa la cantidad de agua retenida que puede ser absorbida por las plantas.

**Capacidad de campo (CC):** representa la cantidad de agua que puede ser retenida en un suelo contra la fuerza de gravedad (Siebe *et.al.*, 2006). Así mismo, (Porta *et.al.* 1994) lo define como el contenido de agua en el suelo después de 48 horas de un riego o de una lluvia abundante, pues después de este tiempo empieza un drenaje lento del agua contenida en el suelo.

**Punto de marchitez permanente (PMP):** representa el contenido de agua por debajo del cual las plantas mesofíticas<sup>7</sup> no son capaces de extraer el agua del suelo, viene a corresponder el límite inferior del agua retenida por fuerzas capilares absorbible por las raíces (Porta, 1999).

**Conductividad hidráulica (kl):** mide el movimiento del agua en el suelo para un gradiente determinado, lo que condiciona la infiltración como la percolación del exceso de agua hacia capas más profundas (Carlisle & Collins, 1995).

#### 1.5.4. Calidad química del suelo

La calidad química de los suelos se refiere a aquellas propiedades químicas que presentan los suelos para tener fertilidad y producir cultivos de calidad. Son específicamente las condiciones que afectan esa relación suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos. Estas relaciones se pueden utilizar para conocer el manejo del suelo y la evolución que han tenido para establecer sus condiciones actuales de calidad.

A continuación, se definen los indicadores que abarca la calidad química del suelo:

**pH o Potencial Hidrógeno:** hace referencia a la cantidad de iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>), presentes en solución; matemáticamente, se expresa como:  $pH = \text{Log } 1/[H^+]$ . En los suelos generalmente, este valor fluctúa de 4 a 7 unidades y los iones H<sup>+</sup> provienen de los humos o materia orgánica, arcillas aluminosilicatadas, óxidos hidratados de Fe<sup>2+</sup> y Al<sup>3+</sup>, sales solubles y CO<sub>2</sub> (Ortíz Villanueva, 1984).

**C.I.C. (Capacidad de Intercambio Catiónico):** es la propiedad de los minerales de arcilla y la materia orgánica, para adsorber cationes de la fase líquida del suelo,

---

<sup>7</sup> Plantas y comunidades vegetales que viven en condiciones ambientales intermedias entre el medio seco y el medio acuático

desadsorbiendo al mismo tiempo, cantidades equivalentes de otros cationes (Porta, 1999). Existen, además ciertos procesos de adsorción que incluyen uniones covalentes con ciertos grupos funcionales de las superficies de las arcillas. Esta disponibilidad facilita o dificulta el mecanismo de adsorción cuando sube el pH del suelo (Seoáñez *et al.*, 1999).

**Materia Orgánica (M.O.):** El concepto de materia orgánica, que se adopta como equivalente a componentes orgánicos, incluye a la materia orgánica no humificada (biomasa vegetal, animal senescente y bacteriana) y al humus (sustancias no húmicas). La MO tiene la capacidad de formar complejos con iones metálicos llamados quelatos que resultan de enlaces de tipo iónico y que dan lugar a fenómenos de adsorción del ión metálico. Estos quelatos son muy estables al unirse con los metales: Zn, Mn, Cu, Ni, Fe y Al (Porta *et. al.*, 2003).

#### 1.5.5. Calidad biológica del suelo

Los indicadores biológicos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Incluyen funciones como la tasa de respiración y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (Bautista Cruz, *et.al.*, 2004).

Sin embargo, la cantidad de organismos en el suelo no siempre puede ser benéfico, puesto que en campos agrícolas esto puede convertirse en una plaga acabando con la producción del agricultor.

## **Capítulo II: Caracterización física y social del Ejido de San Diego Alcalá, Temoaya, Estado de México.**

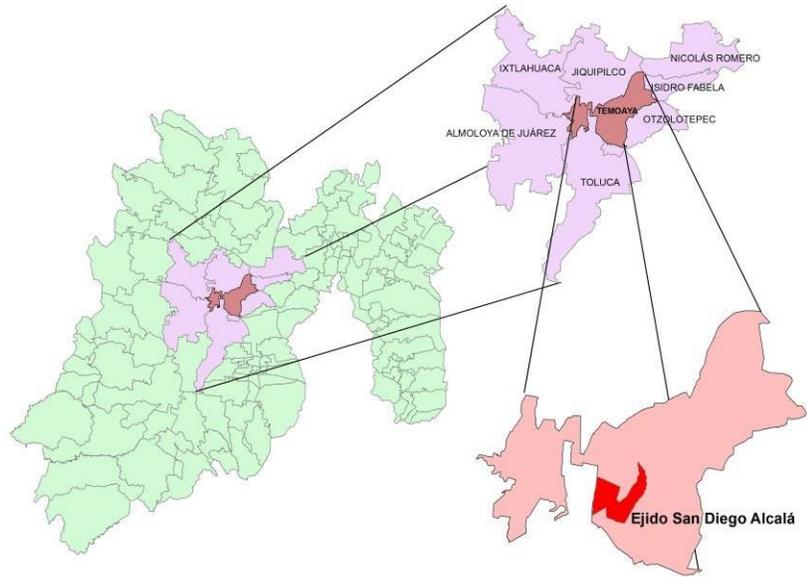
### 2.1. Descripción de la Zona de Estudio

#### 2.1.1. Ubicación Geográfica

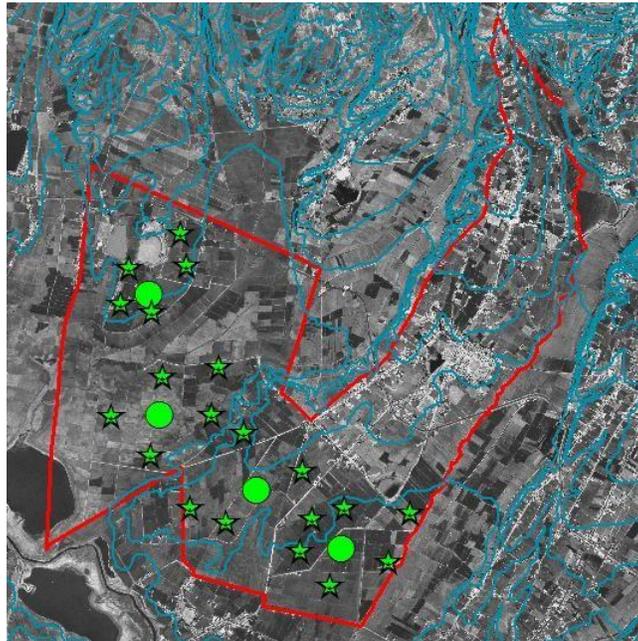
El Municipio de Temoaya se encuentra en la parte centro norte del Estado de México con longitud Oeste  $99^{\circ} 35' 45''$ , una latitud Norte de  $19^{\circ} 28' 12''$  y a una altitud de 2680 msnm. Colindando al norte con los municipios de Jiquipilco y Nicolás Romero; al sur con Toluca y Otzolotepec; al este con Isidro Fabela, Jilotzingo y Otzolotepec; y al oeste con Ixtlahuaca y Almoloya de Juárez. Temoaya cuenta con una extensión de 199.63 kilómetros cuadrados ( $\text{km}^2$ ), que equivalen al 0.88% de la superficie total del Estado de México y al 0.01% del territorio nacional (ver figura 2.1).

De acuerdo con el Sistema de Integración Territorial (ITER, 2010) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Municipio de Temoaya está integrado por 80 localidades, de la cual el ejido de San Diego Alcalá es la zona de estudio a trabajar junto con la localidad de San Mateo de Alcalá. El ejido de San Diego Alcalá se encuentra a los  $19^{\circ} 27' 50''$  latitud norte y  $99^{\circ} 36' 42''$  longitud oeste a una altitud de 2630 msnm; así mismo, la localidad de San Mateo de Alcalá perteneciente al ejido de San Diego Alcalá se encuentra a los  $19^{\circ} 27' 43''$  latitud norte y a los  $99^{\circ} 38' 32''$  longitud oeste y a una altitud de 2588 m. El ejido de San Diego Alcalá cuenta con una superficie de 720 hectáreas.

Se eligió esta zona de estudio debido a su importancia en la producción de maíz bajo esquemas de producción en los que las prácticas agrícolas tradicionales han cambiado por prácticas agrícolas con maquinaria y agroquímicos, siendo de interés identificar el impacto que este cambio ha tenido sobre la calidad del suelo.



**Figura 2.1. Ubicación del municipio de Temoaya y del ejido de San Diego Alcalá**

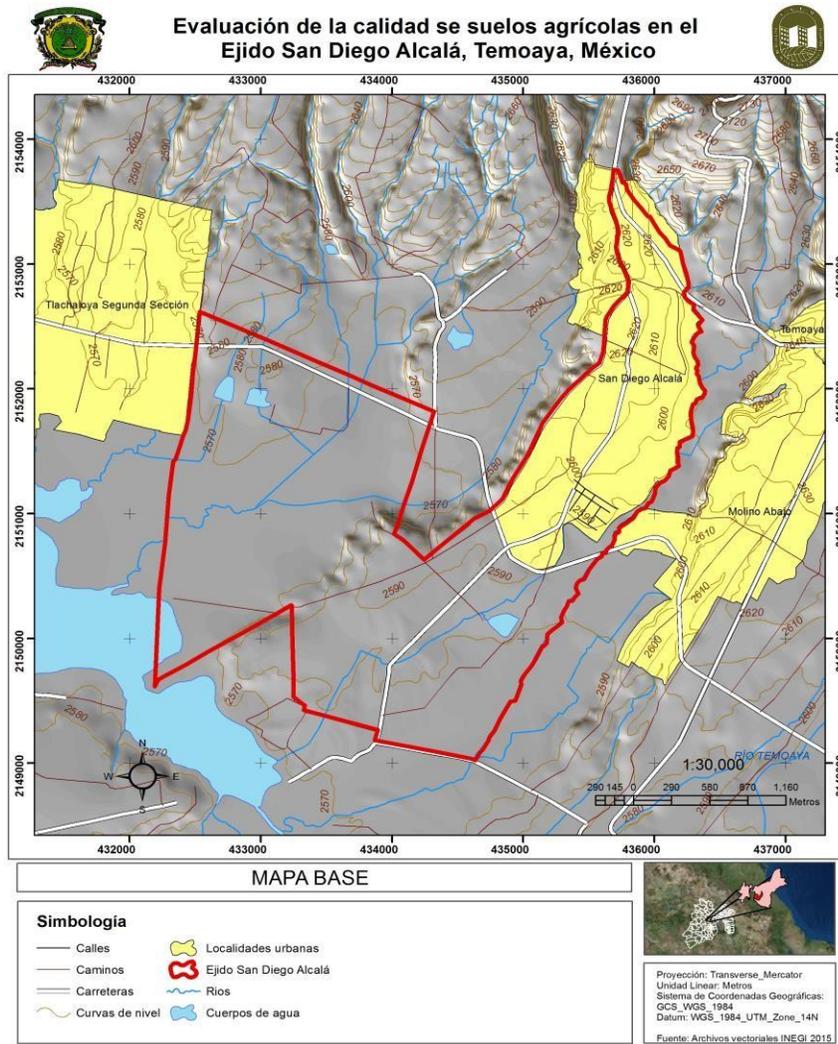


Fuente: elaboración propia de acuerdo con la división Política del Registro Agrario Nacional (RAN)

**Figura 2.2. Imagen de los puntos de muestreo en el Ejido de San Diego Alcalá**

### 2.1.2. Topografía

Las principales formaciones topográficas en el ejido de San Diego Alcalá son de dos tipos, las antropogénicas que incluye el área urbana, vialidades, localidades y la segunda que confiere a los aspectos naturales como lo son cerros, valles, llanuras, ríos, entre otros (ver figura 2.3).



**Figura 2.3 Mapa topográfico**

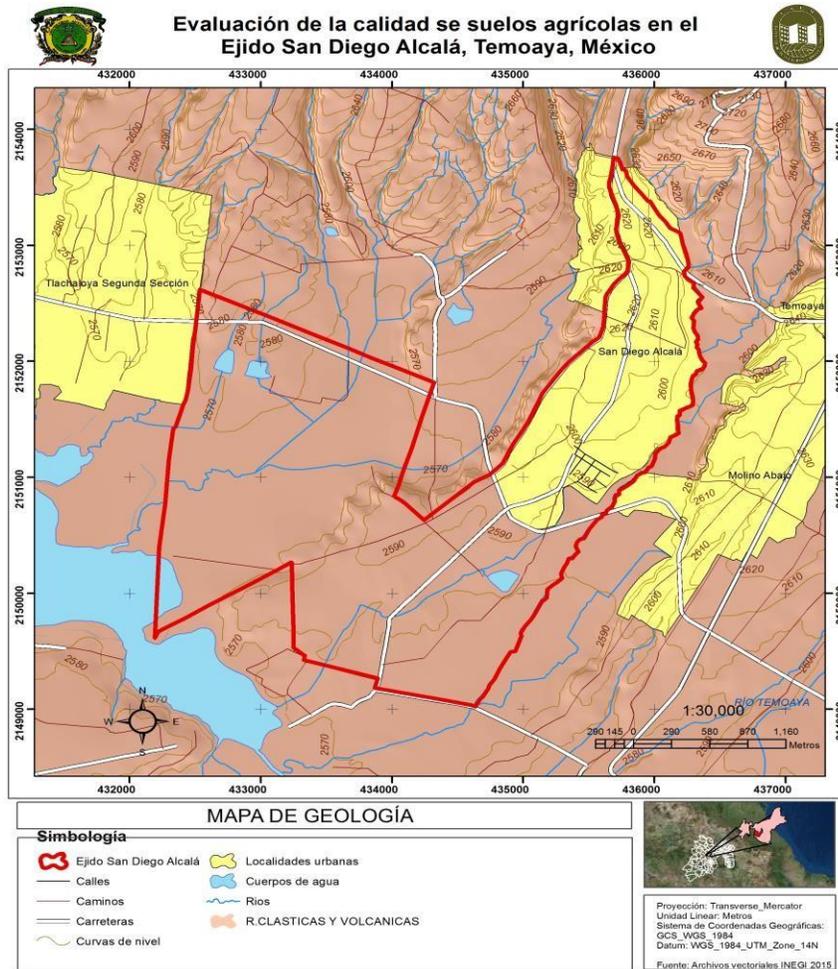
### 2.1.3. Geología

Dentro del ejido de San Diego Alcalá la geología se encuentra constituida principalmente por 2 tipos de rocas, las rocas volcánico clásticas y las rocas sedimentarias, originadas a partir de la acumulación y consolidación de materia mineral pulverizada, depositada por la erosión.

De las rocas sedimentarias encontradas en el Ejido de San Diego Alcalá se encuentra un subtipo que son las lutitas. La propiedad fundamental de las lutitas es la plasticidad o la impermeabilidad y este tipo de ambientes sedimentarios se encuentra en el fondo de los lagos y en las orillas de los ríos; dando así lugar a la existencia de suelos aluviales que son suelos que están integrados por la acumulación de materia mineral que llevan los ríos y hace que las tierras sean muy fértiles; se encuentran principalmente en la parte sur del área de estudio la cual se utiliza en la agricultura de riego y de temporal.

Las rocas volcánico clásticas (Fisher, 1961) son aquéllas producidas por actividad volcánica, generalmente explosiva, seguida de una remoción/retrabajo de material. Tienen aspecto similar a las rocas clásticas, debido a que se transportan, depositan y acumulan por procesos similares a dichas rocas, aunque el proceso original que produce los materiales es volcánico. Este aspecto similar es en virtud a que se encuentran constituidas por material “particulado” o fragmentado (material piroclástico ó tefra).

Dentro del ejido de San Diego Alcalá también se presentan fallas que han dado lugar a las formaciones geomorfológicas como lomeríos y llanuras (ver figura 2.4).



**Figura 2.4: Mapa geológico**

#### 2.1.4. Geomorfología

A nivel municipio, Temoaya se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica del eje Neovolcánico que a su vez pertenece a la subprovincia de los Lagos y Volcanes de Anáhuac. Entre el relieve del ejido de San Diego Alcalá se encuentran lomeríos y vasos lacustres de piso rocoso o cementado (INEGI, 2010).

#### 2.1.5. Edafología

Dentro del ejido de San Diego Alcalá se cuenta con tres tipos de suelo que son (ver figura 2.5):

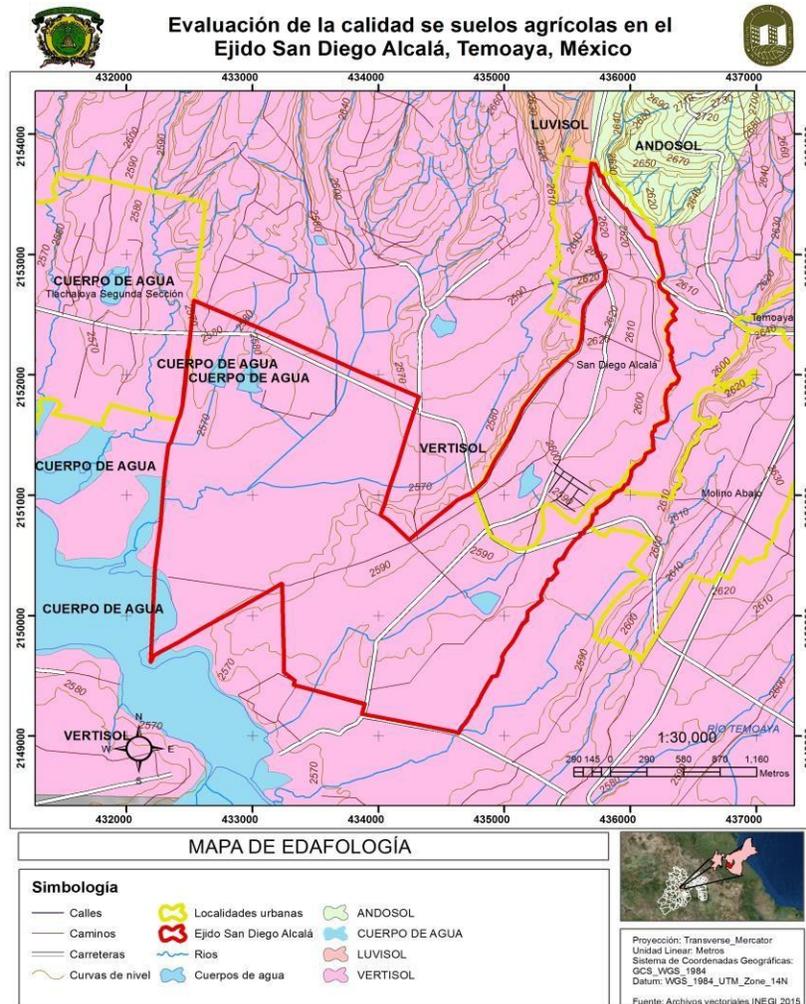
**Vertisol:** ubicado en la zona sur del ejido; son suelos minerales caracterizados por un alto contenido de arcillas (30% o más en todo el perfil) cuya característica principal es la expansión y contracción del suelo cuando adquieren o pierden agua (Dudal & Eswaran, 1988) (Porta, 1999). Las arcillas son predominantemente esmectíticas, las cuales son arcillas 2:1 que le otorgan al suelo la particularidad de generar grietas durante las estaciones secas; están determinados por un material parental rico en Ca, Mg y Na presentes en rocas volcánicas básicas destacando los flujos basálticos y entre otros sustratos como aluviones de tierras bajas, calizas, lutitas y esquistos verdes entre otros (Herrera, 2011). En general presenta buena aptitud para el uso agrícola con buenos rendimientos, sin embargo, por sus características se vuelve complicado su manejo. Son suelos casi siempre muy fértiles, aunque con ciertos problemas de manejo agrícola como son dificultad para la labranza, mal drenaje y deficiencia de materia orgánica.

**Andosol:** localizado en una pequeña proporción de la zona norte del ejido, son suelos formados a partir de materiales ricos en vidrios volcánicos y que comúnmente tienen un horizonte superficial oscuro, poseen un alto contenido de MO, lo que favorece un alto grado de captación hídrica y de enraizamiento sin embargo, se vuelven muy vulnerables a los cambios; esto principalmente en las áreas boscosas y laderas (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Tienen un alto potencial para la producción agrícola, pero muchos de ellos no se usan hasta su capacidad; sin embargo, la fuerte fijación de fosfatos de los Andosoles (causada por Al y Fe libres) suele convertirse en un problema. Las medidas de mejora para reducir este efecto incluyen la aplicación de calcáreo, sílice, material orgánico, y fertilización fosfatada (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

**Luvisol:** son suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla) que lleva a un horizonte subsuperficial árgico, presentan una coloración rojiza y se ubican en pendientes suaves y llanuras (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007) (Herrera, 2011).

La mayoría de los Luvisoles son suelos fértiles y apropiados para un rango amplio de usos agrícolas. Luvisoles con alto contenido de limo son susceptibles al deterioro de la estructura cuando se labran mojados, con maquinaria pesada y en pendientes fuertes requieren medidas de control de la erosión, ya que es muy vulnerable ante fenómenos físicos por lo que su dinámica es muy constante (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Se ubica en una pequeña zona en la parte norte del ejido.

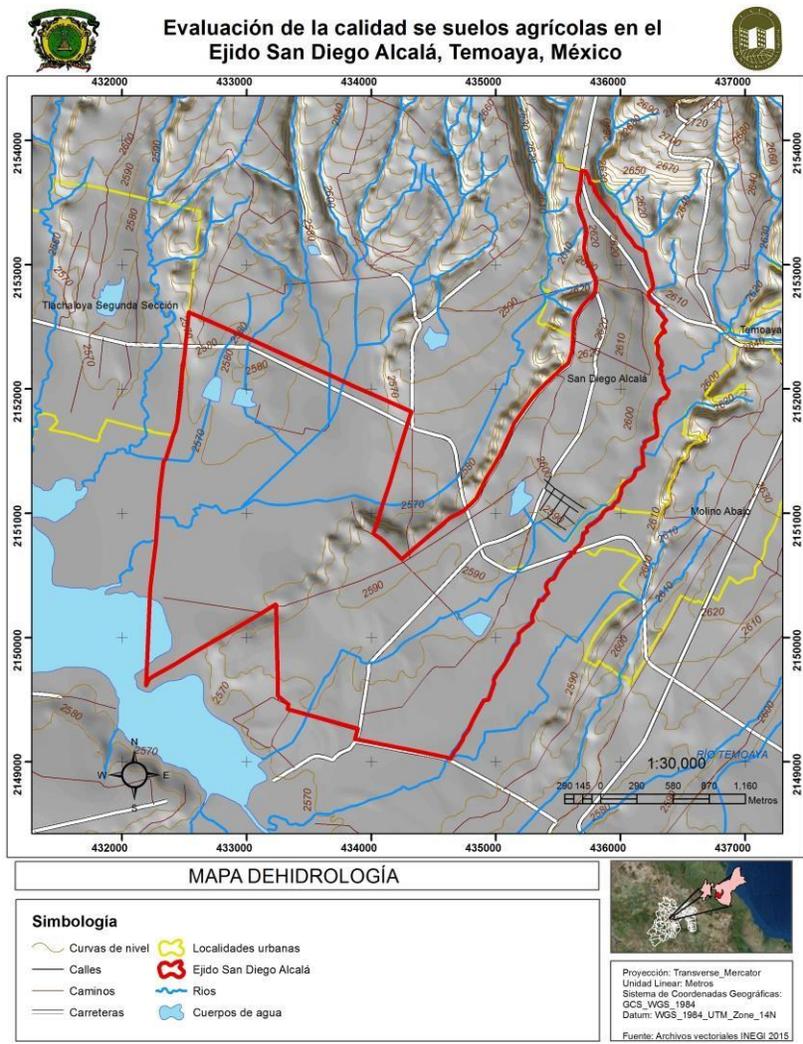


**Figura 2.5: Mapa edafológico**

### 2.1.6. Hidrología

La hidrología contemplada dentro del ejido de San Diego Alcalá está constituida por pequeños arroyos y presas que funcionan como almacenes de agua para irrigar los suelos agrícolas. Sin embargo, cabe destacar que el agua de los arroyos ya no se ocupa puesto que en ellos se descargan aguas residuales y para sustituir la demanda de agua para riego de las parcelas se extrae de pozos de agua potable.

Dentro del ejido existen tres presas que almacenan el agua de lluvia para ocuparla posteriormente para el riego de la zona y una pequeña presa que forma parte de la Presa José Antonio Alzate (ver figura 2.6).



**Figura 2.6: Mapa hidrológico**

### 2.1.7. Clima

En general el municipio de Temoaya es uno de los lugares más fríos del Valle de Toluca debido a su altitud, pues se presentan temperaturas oscilantes entre 6-14°C con una temperatura media anual de 13.4°C. De acuerdo con la clasificación de Köppen modificado por García (1990), el clima presente en el Ejido de San Diego Alcalá es templado subhúmedo (Cw) con lluvias en verano de mayor humedad.

La época de verano es la más favorable para la recarga de mantos freáticos así como para la regeneración de la flora; y es aquí donde de acuerdo al ábaco productivo se da el desarrollo de la planta de maíz; sin embargo, cabe destacar que

en la época de invierno se presenta la temporada de sequías con lo que el medio se enfrenta a ciertas adversidades como la escasez de agua y pastura verde para los animales; y es aquí donde comienza la cosecha del maíz.

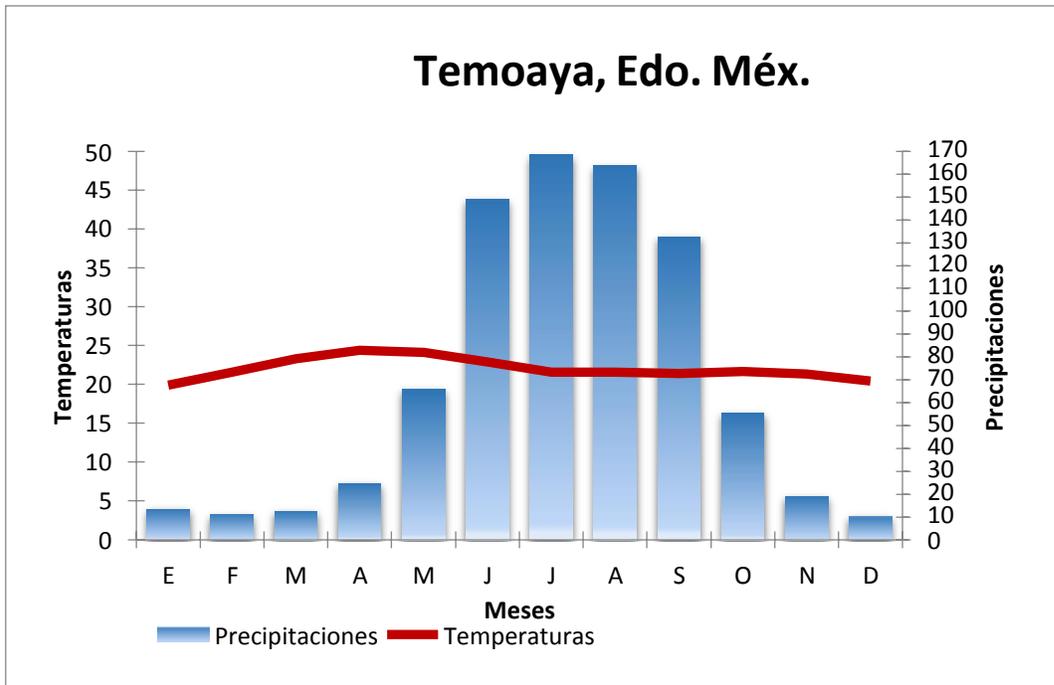
Debido a este clima, se cuenta con un rango de precipitación entre los 900 y 1300 milímetros (mm) y la humedad ambiental produce neblina al amanecer. Por estas características la primera helada se registra en octubre o noviembre y la última en abril.

De acuerdo con lo anterior, en la tabla 2.1 se presenta una serie de datos que representan las temperaturas máximas y mínimas promedio, así como la precipitación y la evaporación dada entre 1981-2010, pues es importante ya que parte de estos datos determinaron en su momento la producción del maíz en ciertos periodos.

**Tabla 2.1: Temperaturas medias cercanas al ejido de San Diego Alcalá**

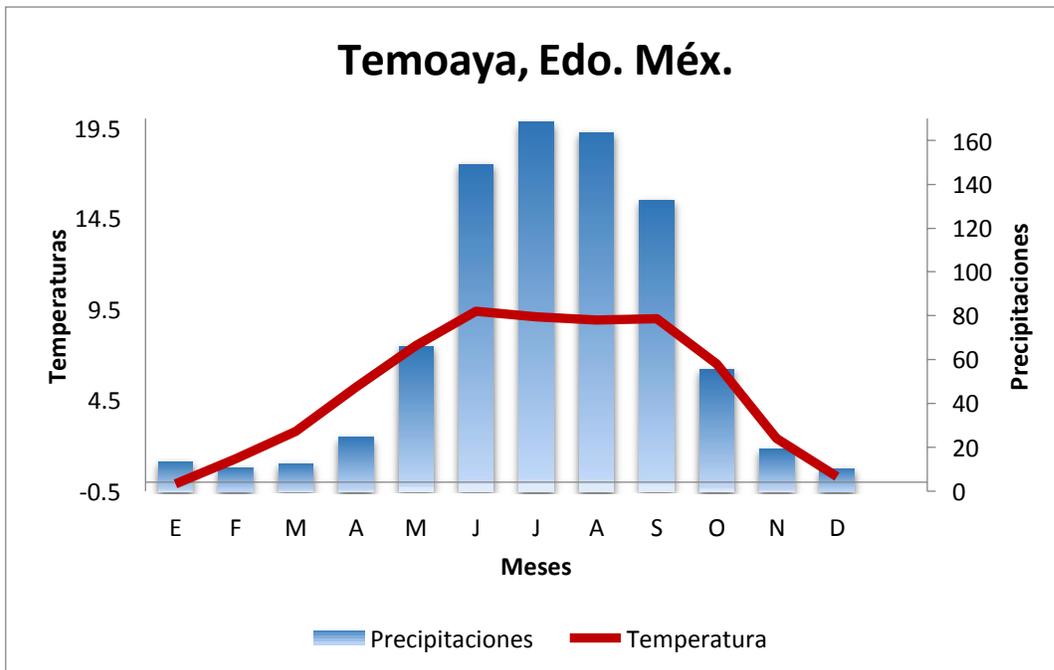
SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL												
Normales Climatológicas												
ESTADO: ESTADO DE MÉXICO						PERIODO: 1981-2010						
ESTACIÓN: 00015201 TROJES LATITUD: 19° 25'41" N. LONGITUD: 099° 36'45" W. ALTURA: 2,583 MSNM												
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>TEMP. MAX.</b>												
Normal	19.9	21.6	23.3	24.4	24.1	22.9	21.6	21.6	21.4	21.7	21.3.....	20.4
Máxima mensual	22.1	24.3	25.8	26.7	27.8	25.6	23.1	23.7	22.7	23.0	22.7 .....	22.4
<b>TEMP. MIN.</b>												
Normal	-0.1	1.3	2.8	5.2	7.5	9.4	9.1	8.9	9.0	6.5	2.4 .....	0.3
Mínima Mensual	-3.5	-3.6	-1.3	0.9	4.1	6.8	6.9	6.3	5.7	3.2	-0.4.....	2.2
<b>PRECIPITACIÓN</b>												
Normal	13.4	10.9	12.5	24.6	66.1	149.1	168.6	163.7	132.7	55.5	19.1 .....	10.2
Máxima mensual	41.9	112.3	48.3	73.9	168.3	283.8	233.0	302.0	299.3	110.8	69.2 .....	44.5
<b>EVAPORACIÓN TOTAL</b>												
Normal	107.4	131.5	183.5	188.9	174.6	137.4	126.7	126.6	111.3	114.1	105.1.....	101.1

Fuente: elaboración propia con base a (SMN, 2015).



Fuente: elaboración propia en base a (SMN, 2015).

**Figura 2.7: Temperaturas máximas y precipitaciones promedio cercanas al ejido de San Diego Alcalá**



Fuente: elaboración propia en base a (SMN, 2015).

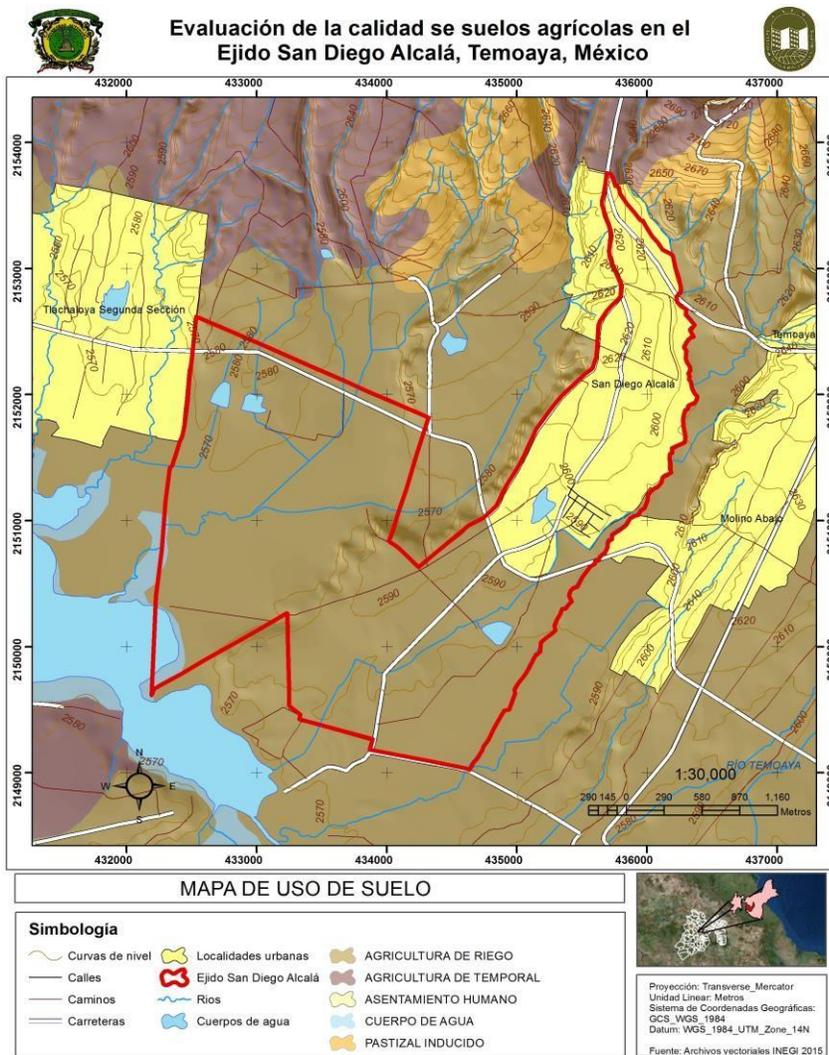
**Figura 2.8: temperaturas mínimas y precipitaciones promedio cercanas al ejido de San Diego Alcalá**

Como se muestra en las figuras 2.7 y 2.8 las temperaturas mayores están registradas en los meses de abril y mayo y las mínimas en enero y diciembre, para lo cual y de acuerdo al ábaco productivo, enero y diciembre son periodos de estiaje y de abril a septiembre son periodos aptos para el desarrollo del maíz, ya que se presentan lluvias abundantes que favorecen a los cultivos.

#### 2.1.8. Uso de suelo

El uso actual del suelo en el ejido de San Diego Alcalá es principalmente de dos tipos: asentamientos humanos y uso agrícola-ganadero.

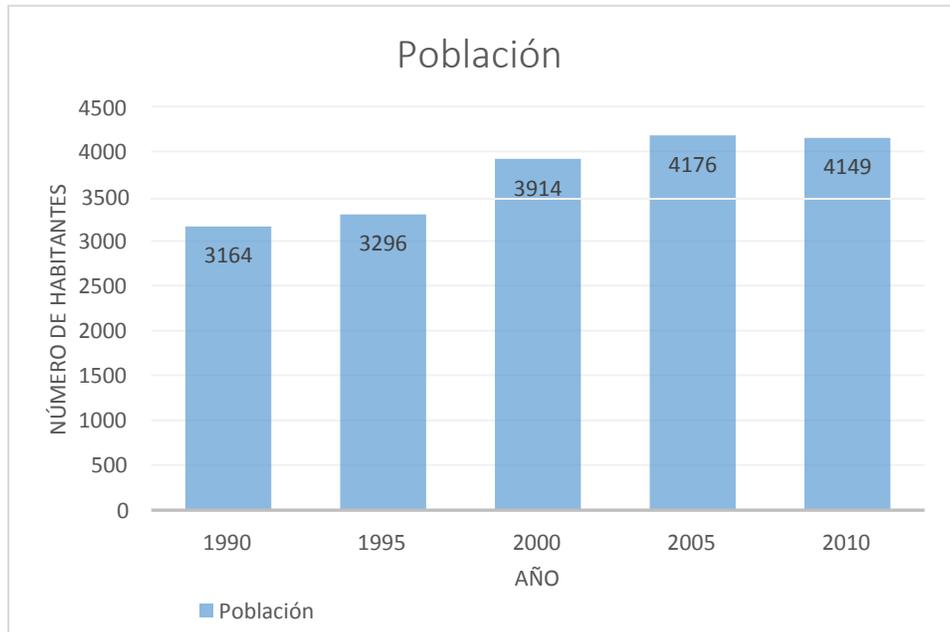
El uso urbano de la zona de estudio se encuentra principalmente en la zona centro del ejido, extendiéndose en una franja a lo largo del mismo; sin embargo, y a pesar de la creciente urbanización que se ha venido dando no solo a nivel local sino también regional, aún quedan extensas áreas para el cultivo de maíz principalmente y para el pastoreo, esto en la zona sur del ejido (ver figura 2.9).



**Figura 2.9: Mapa de uso de suelo**

## 2.2. Condiciones Sociales

El crecimiento demográfico en la localidad de San Diego Alcalá y San Mateo Alcalá, Temoaya, se observa con los datos obtenidos a través de los Censos de Población y Vivienda (INEGI) de los años 1990, 2000 y 2010 y a los Conteos de Población y Vivienda 1995 y 2005, mostrándose en la siguiente gráfica (ver figura 2.10):



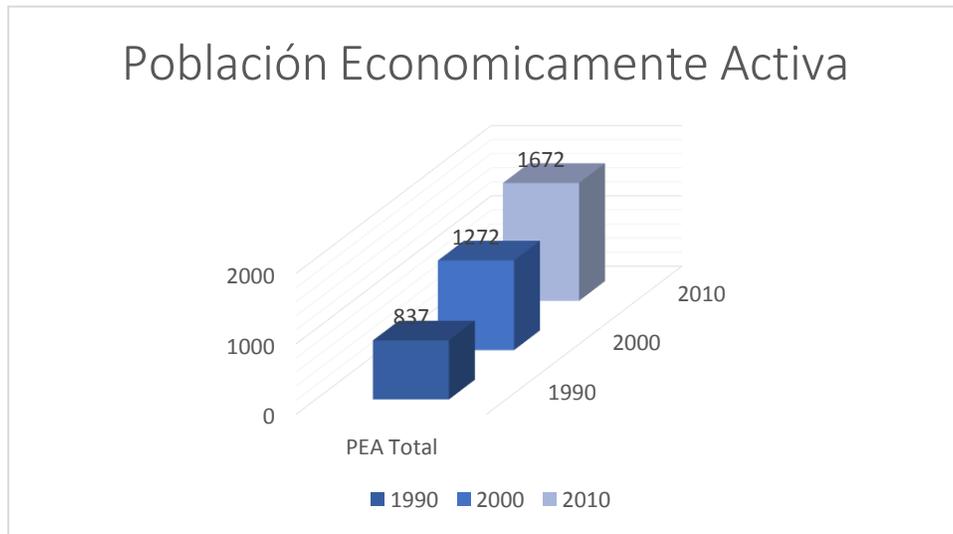
Elaboración propia con base al ITER 1990, 1995, 2000, 2005 y 2010 de INEGI

**Figura 2.10: población total del ejido de San Diego Alcalá**

La gráfica demuestra que durante los años 2005 y 2010 la población se mantuvo constante en comparación con los años anteriores, sin embargo, donde se nota un ligero incremento es de 1995 hasta 2005 donde la población se eleva casi en un 10%.

La población total se puede dividir en dos formas destacables, como lo son la población económica activa (PEA) y la población ocupada (PO).

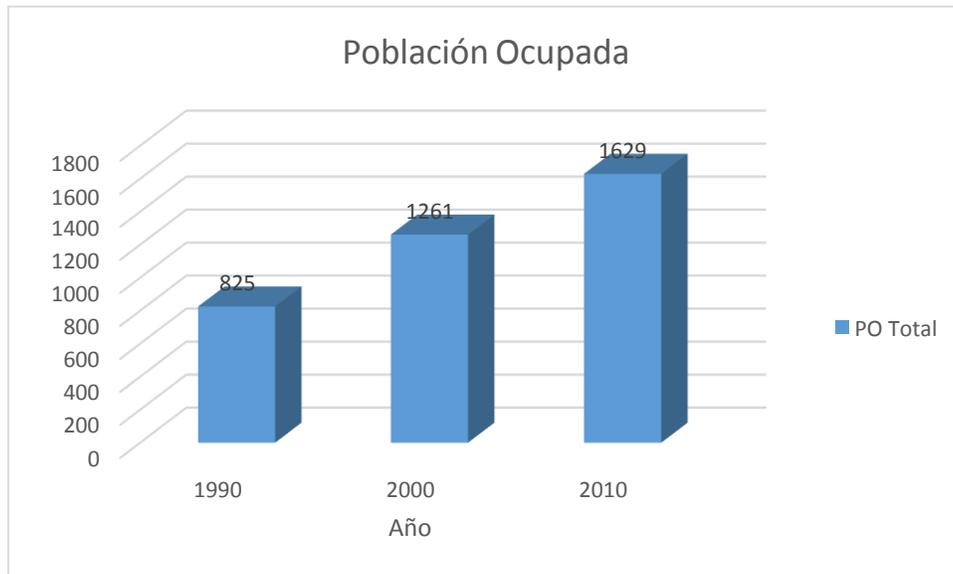
De acuerdo con el INEGI la población económicamente activa (ver figura 2.11) la integran las personas que tienen una ocupación o que sin tenerla la están buscando activamente. Está compuesta por la población ocupada (ver figura 2.12) más la población desocupada.



Elaboración propia con base al PEA, ITER 1990, 2000 y 2010 de INEGI

**Figura 2.11: PEA del ejido de San Diego Alcalá**

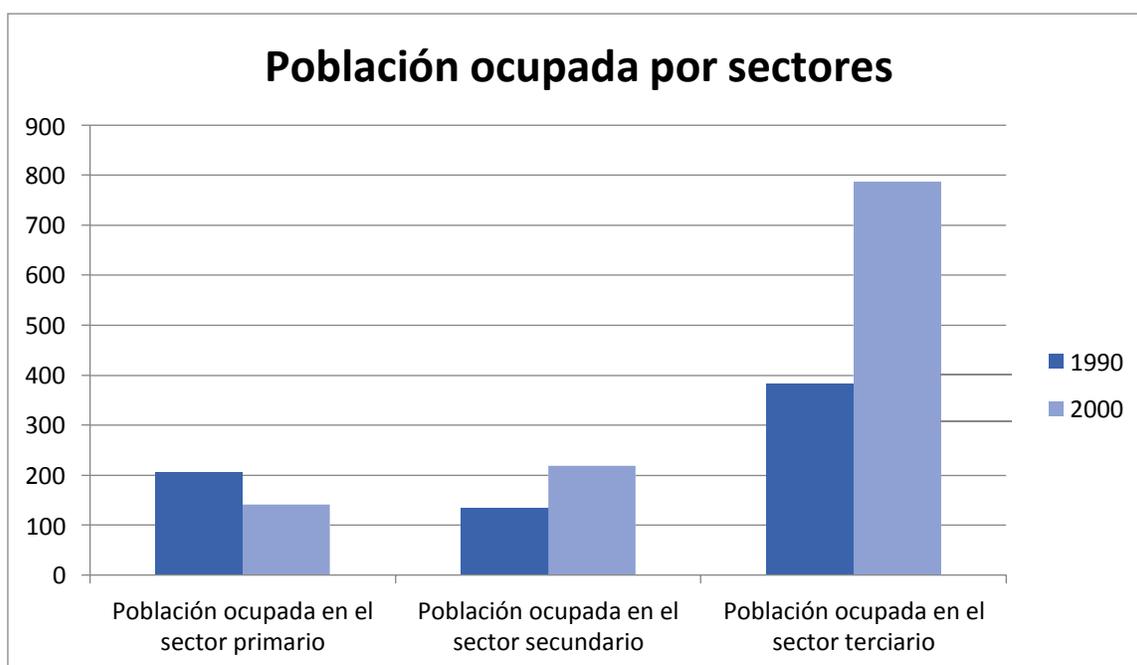
Tener conocimiento acerca de la población económicamente ocupada es importante porque demuestra qué cantidad o porcentaje se dedica a alguna actividad económica (ver figura 2.12), -e interesadamente para este caso de estudio aplicándolo al campo agrícola- y como se puede demostrar que la población económicamente activa a pesar de su crecimiento no necesariamente se encuentra en el rubro de la agricultura.



Elaboración propia con base al PO ITER 1990, 2000 y 2010 de INEGI

**Figura 2.12: población ocupada del ejido de San Diego Alcalá**

La población ocupada, además, se clasifica y distribuye entre los distintos sectores destinados a las actividades primarias, secundarias y terciarias (ver figura 2.13), y es importante resaltar que quienes se dedican a las actividades primarias implementan técnicas agrícolas para el cultivo; además de que representa la población que se dedica a las actividades agrícolas y el cambio que se ha presentado a través de los años nos puede indicar si este número ha disminuido o aumentado.



Fuente: Elaboración propia con base al PO por sector ITER 1990, 2000 y 2010 de INEGI

**Figura 2.13: población ocupada del sector primario para los años 1990 y 2000 en el ejido de San Diego Alcalá**

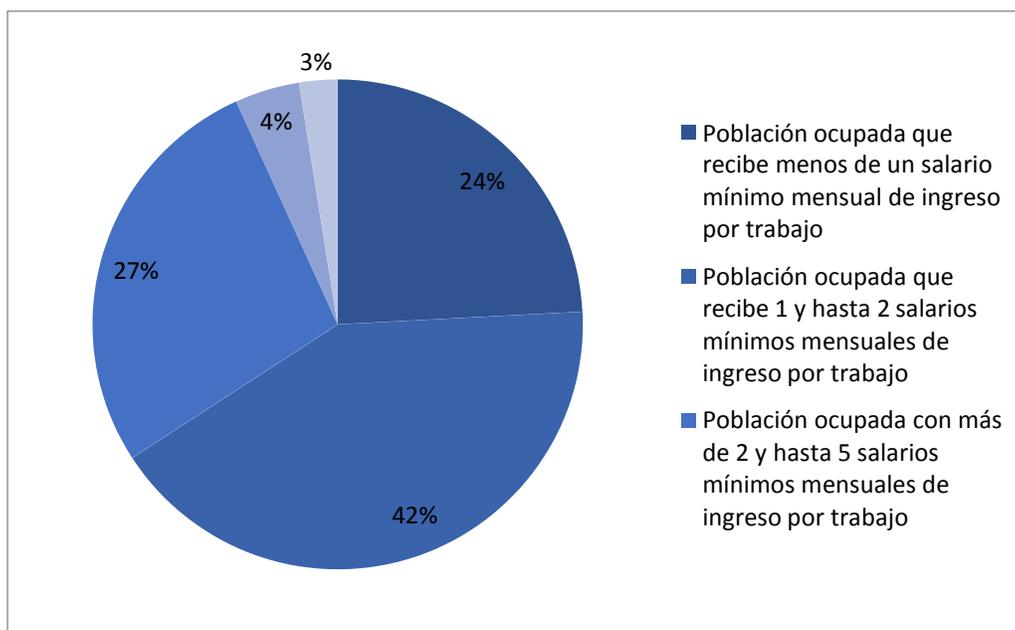
Actualmente como se muestra en la gráfica el porcentaje poblacional que se dedica al sector primario (agricultura y ganadería) es menor en comparación con otros sectores; y las circunstancias o motivos de dedicarse a esta actividad varían de acuerdo a los intereses de cada campesino, que van desde el factor económico reductible, las circunstancias climáticas o por la mecanización del campo.

Así mismo, en la gráfica se demuestra que el sector terciario es el que ha tenido un mayor incremento llegando casi al doble que el periodo anterior.

Aproximadamente el 42% de la población ocupada percibe un ingreso de hasta dos salarios mínimos mensuales por trabajo, siguiendo el 27% que percibe de 2 a 5 salarios mínimos, el 24% recibe incluso menos de 1 salario mínimo por trabajo, y entre el 4 y 3 %, alcanzan a percibir 10 salarios mínimos, lo que denota que la localidad se encuentra ante una desigualdad económica fuerte, considerando que

aproximadamente el 50% de la población se enfoca a los trabajos del sector terciario, y siendo en menor parte los destinados al trabajo del sector primario.

En la siguiente gráfica (ver figura 2.14), se muestran claramente los porcentajes en cuanto a la percepción de salarios.



Fuente: elaboración propia con base a la tabla de salarios mínimos

**Figura 2.14: percepción de salarios para el año 2010 en el Ejido de San Diego Alcalá**

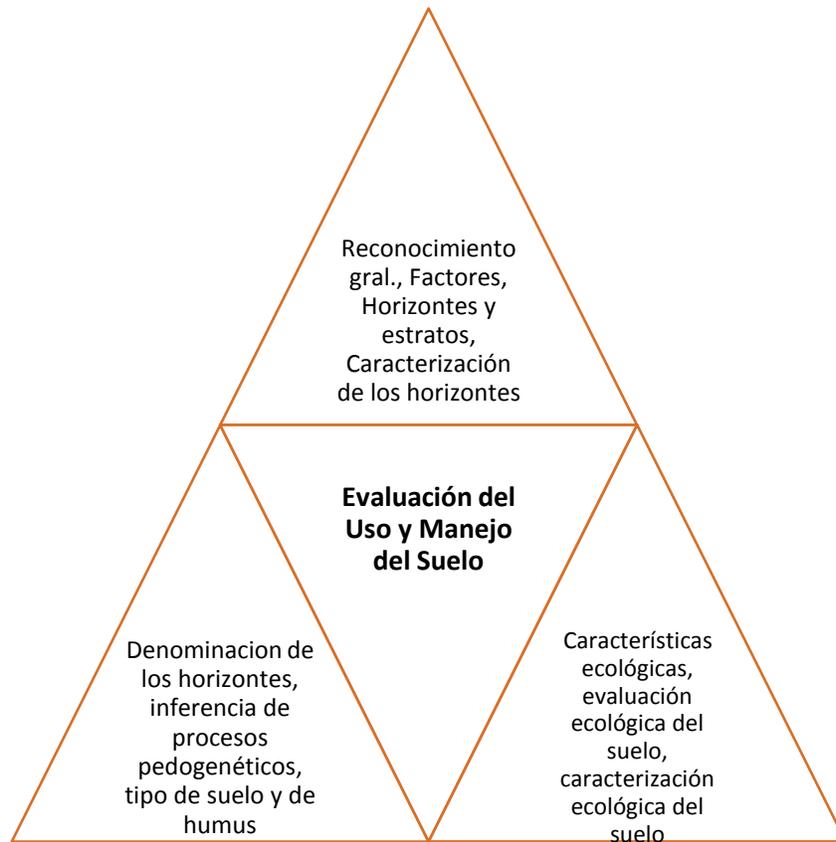
Cabe resaltar que el resto de la gráfica representa aquella población que percibe arriba de 5 salarios por lo que ocupa un menor porcentaje, sin embargo, para el sector primario la percepción de salarios va de menos 1 hasta 2 salarios mínimos que de acuerdo con una consulta con los campesinos puede llegar a elevarse esta percepción solo por temporadas productivas.

### 2.3. Organizaciones o instituciones presentes en la zona de estudio para el sector primario

Las Instituciones que actualmente hacen acto de presencia en el ejido de San Diego Alcalá es la Secretaria de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO), pues en los últimos dos años ha brindado apoyo para la capacitación a los agricultores para cursos de lombricomposta, ha brindado pláticas para el uso y manejo de semillas mejoradas así como para la implementación de nuevos agroquímicos (fertilizantes y herbicidas); así como el incentivo de apoyos económicos por las pérdidas de las cosechas ocasionado por heladas tempranas o fuertes granizadas. También se encuentra presente la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que constantemente está brindando apoyo para las actividades de riego en las parcelas y que año con año da la oportunidad de abrir los pozos de agua potable a diferentes zonas del ejido.

## Capítulo III: Metodología

El trabajo de campo y laboratorio es una etapa fundamental para llevar a cabo una investigación de calidad de suelos. Dentro de este capítulo se anexan diversas etapas que incluyen parte de la metodología para la obtención de resultados (ver figura 3.1).



Fuente: elaboración propia en base a Siebe *et.al.* (2006).

**Figura 3.1: Diagrama de flujo para un levantamiento de suelos**

### 3.1. Etapa de preparación

En esta fase principalmente se llevó a cabo la identificación de la metodología con la cual se trabajaría en campo y para ello se retoma a Siebe *et.al.* (2006) como la base referencial de la cual parte la investigación en este contexto; así mismo se

selecciona la hoja de campo para realizar la descripción adecuada de una manera fácil y sencilla (anexo 1).

#### 3.1.1. Identificación del área de estudio

El área de estudio se seleccionó de acuerdo a la condición de uso de suelo agrícola y su ubicación en función del relieve. Se realizó un recorrido de campo para corroborar los supuestos planteados mediante imágenes satelitales (Google Earth, 2012).

Se seleccionaron cuatro áreas: 1) Paraje la Virgen, 2) Paraje Universidad, 3) Paraje Llano Grande y 4) Paraje San Mateo Alcalá, donde se identificarán diferentes tipos de manejo agrícola que pudiesen ser importantes para la investigación; tomando en cuenta los siguientes criterios: el tipo de manejo, la pendiente, la unidad paisajística y la geoforma, donde más adelante se describe cada uno. Cabe resaltar que para determinar las unidades paisajísticas se hizo con base a un mapa de usos de suelo donde se dividió la zona urbana de la zona agrícola, así mismo, se tomó en cuenta la presencia de asentamientos humanos más cercanos y como se van involucrando estos en el área agrícola; no obstante la percepción visual influyó para determinar estas áreas en función del relieve (laderas, planicie, arroyos, etc) y de acuerdo al tamaño y posición geográfica abarcar el ejido con puntos estratégicos.

#### 3.1.2. Materiales y métodos a implementar en campo

El material utilizado en campo fue proporcionado por la Unidad de Laboratorio de Ciencias Ambientales de la Facultad de Planeación Urbana y Regional (FaPUR) que consiste en lo siguiente:

- 1 kit de suelos (1 tabla Munsell, 1 cinta métrica de 1.5 metros, 1 cuchillo, agua destilada, bandas para pH, frascos de 10 ml, ácido clorhídrico (HCl), indicador de fenolftaleína, fluoruro de sodio (NaF).
- 1 pala de cuchara, 1 pala recta, 1 zapapico
- 1 nucleador
- 1 barrena
- 1 manual para la descripción de suelos en campo y hojas de campo

-1 GPS

-bolsas de plástico y marcadores

Dichos materiales sirvieron para ubicar y describir los perfiles de suelo, así como para la obtención de muestras donde posteriormente se trasladan al laboratorio de la FaPUR para realizar las pruebas correspondientes.

### 3.2. Fase de trabajo en campo

#### 3.2.1. Elaboración de perfiles y toma de muestras de acuerdo a la metodología de Siebe

Durante esta fase se visitó el área de estudio para comenzar con la elaboración de perfiles que consistió en abrir una superficie en el suelo de 1.50 m de largo x 80 cm de ancho con una profundidad de 1.25 m (ver resultados); para (Oriol & Valle, 1938) (Porta, 1999) esta excavación consiste en realizar tres paredes verticales para poder observar adecuadamente el perfil y los horizontes y una pared inclinada para facilitar la entrada.

La orientación del perfil se hizo en base a su posición fisiográfica y dirección del sol, esto con el fin de que la luz solar iluminara adecuadamente el perfil durante la descripción y con ello distinguir de manera mas sencilla los horizontes. Esto mismo ayuda con mayor claridad a la toma de fotografías que mas adelante sirve como ayuda visual para el lector; resaltando que las tomas fotográficas se deben realizar antes de la descripción de cada perfil.

Es importante resaltar que para abrir un perfil es necesario tomar ciertos criterios que ayudan a no modificar la estructura del suelo y a una descripción mas acertada del perfil (Porta, 1999). Para ello, durante la excavación del perfil se realiza una separación de horizontes de acuerdo a su color, para posterior a la descripción del perfil el material se regrese de la misma forma, de tal manera que no se mezclen los materiales; asi mismo, se debe evitar colocar el material extraido del perfil en la cabecera del mismo ya que esto puede alterar la toma de muestras.

Consecutivamente con ayuda del GPS se ubicaron en coordenadas UTM los perfiles y se identificaron los horizontes de los cuales se hizo la descripción correspondiente; se tomaron las muestras necesarias en bolsas de plástico y se etiquetaron con el nombre del perfil, fecha, ubicación, horizonte y profundidad para ser trasladados al laboratorio y ahí realizar los análisis correspondientes. Una nota importante es que para la toma de muestras se comienza con los horizontes inferiores y de ahí hacia la parte superior, esto con el fin de evitar alterar los horizontes subsecuentes.

De acuerdo a la metodología implementada y a las recomendaciones de los asesores de tesis, se obtuvieron muestras secundarias de suelo y subsuelo con ayuda de la barrena a una profundidad de 45 cm en un radio de 300 metros que rodeaban al perfil, se envasaron y etiquetaron con el fin de corroborar los datos iniciales del perfil y si existiese algún cambio considerable que nos lleve a ser más puntuales en la descripción y análisis.

Como parte del trabajo en campo se realizaron entrevistas a los campesinos (ver anexo 2); pieza fundamental que contribuyó a la descripción del manejo de las parcelas. Se entrevistó un total de 13 campesinos, entre los cuales estaban los dueños de las parcelas de donde fueron extraídas las muestras para el trabajo en laboratorio, así mismo, el resto aportó información importante respecto al manejo de sus parcelas donde la mayoría concuerda en el tipo de manejo y da las bases para la realización del abaco productivo del ejido.

### 3.2.2. Descripción de perfiles

La descripción de perfiles tanto en campo como en laboratorio se hizo con base a la metodología de Siebe *et.al.* (2006) y en base a las hojas metodológicas proporcionadas por parte de la ULCA (2013). Así mismo, para llevar a cabo la clasificación de los suelos se empleó la Base Referencial del Recurso Suelo proporcionado por la FAO (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

La descripción del perfil consiste en primera instancia en identificar los límites entre horizontes que permite inferir cuales fueron los procesos formadores que dieron lugar a ese suelo.

Posteriormente se realiza una descripción detallada de cada horizonte que permite identificar variables que cambian de horizonte a horizonte y que de una u otra manera los hace diferentes.

De acuerdo al manual de Siebe *et.al.* (2006) y al formato para la descripción de perfiles (ver anexo 1) en campo, se tomaron en cuenta las siguientes variables: textura, consistencia, humedad actual, estructura, pedregosidad, porosidad, raíces, rasgos pedológicos, estabilidad de agregados, rasgos de actividad biológica, límite y moteados. Color, pH, contenido de carbonatos, materia orgánica, textura y densidad aparente se realizaron en laboratorio.

### 3.3. Fase de trabajo en laboratorio

Después del trabajo en campo se prosiguió con el trabajo en laboratorio que consistió en llevar las muestras al Laboratorio de Ciencias Ambientales en la FaPUR donde se realizó lo siguiente:

-Se saca de las bolsas y se ponen a secar las muestras a temperatura ambiente sobre papel periódico hasta que queden completamente secas.

-Posteriormente se disgregan los terrones mas grandes hasta formar agregados mas pequeños; esto se realiza con un mazo de madera para evitar contaminar la muestra.

-Se tamiza con una malla de 2mm a modo de que la muestra tamizada se recolecte, se envase y etiqüete para posteriormente tomar la porción de suelo para los análisis correspondientes.

Una vez realizado el procedimiento anterior se realizarón las siguientes pruebas con ayuda de la metodología porporcionada por la ULCA, por la Soil Survey Laboratory Staff (1976) y por el manual de Siebe et.al. (2006):

Las variables analizadas fueron densidad aparente (DA) por el método de la probeta, color determiado con las tablas de color Munsell (Munsell Color, 1990) en muestras de suelo húmedo y seco, pH en agua destilada (1:2.5) y KCl (1:1) con un potenciómetro marca Corning Pinnacle modelo 545; materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black y texturas por el método de Bouyoucos (ver anexo fotográfico); así mismo, para la obtención de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), para las bases intercambiables (BI) y para los macronutrientes nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) se realizarón en el laboratorio de suelos del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX) de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) del Estado de México.

## **Capítulo IV: Resultados y Discusión de resultados**

Después de haber concluido el trabajo de campo y laboratorio, a continuación se exponen los resultados obtenidos de cada perfil, su descripción y análisis:

El ábaco productivo (fig. 4.1) es una tabla que demuestra como se llevan a cabo las etapas de la producción del maíz, desde la preparación de la tierra hasta la recolección del producto. Esta tabla se realizó con base a entrevistas con los campesinos quienes son los que constantemente realizan estas actividades como parte de su vida cotidiana.

También, este ábaco productivo ayudó en la investigación para determinar en que fechas era mas conveniente realizar el muestreo, obtener información acerca de los tipos de fertilizante y cuánto aplican durante un periodo productivo, qué tipo de semilla siembran, entre otros datos y en base a esto saber si las técnicas han cambiado y a partir de que tiempo aproximadamente.

Cabe resaltar que este ábaco productivo corresponde a dos tipos de manejo el de temporal y de riego, donde lo único que cambia es la aplicación de la punta de riego; pues en el manejo temporal la siembra se hace previo a las primeras lluvias y posteriormente se continua con el mismo manejo como en el de riego.

Meses	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre																											
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4																								
Etapas de Desarrollo																																																																								
																																																	Desarrollo vegetativo																							
	Siembra												Temprano				Tardío								Floración				Ampolla y grano				Grano masoso				Grano dentado				Madurez fisiológica																															
													3 a 5 hojas				6 a 8 hojas				9-12 hojas				12-14 hojas				15-17 hojas				18-20 hojas				masculina				femenina																															
Labores	Barbecho								Riego																				1ª fert. y 1ª escarda				2ª escarda				2ª fert.																												Cosecha							
Plagas																									Araña roja, Gusano trozador								Pulgón negro																Gusano elotero								Gusano soldado															
Malezas	Tipo de malezas: Tehozintle, Cebadilla, Calabacilla, Chayotillo, Eucalipto, Mirasol																																				Control de maleza																																			
Paquete Tecnol.	Tipos de implementos Tractor, Rastra, Arado Subsuelo Sembradora Cultivadora Aspersora Picadora Rastrillo Empacadora Remolque Cosechadora				Preparación de suelo Rastreo de 15 a 20 cm Siembra 27 kg/ha semilla Distancia entre surcos 90 cm Distancia entre plantas 10 y 12 cm Densidad de población 80,000 y 85,000 plantas/ha				Variedades Criollo Híbrido Z60 722 723 5 ton/ha				Fertilización: Químico Urea: 400 kg/ha Fosfato diamónico P18-N46-00: 500kg/ha Cloruro de potasio: 100 kg/ha Orgánico: 400 kg/ha				Control de plagas: Metil Se aplica por aspersión: mecánica y/o manual				Control de malezas: Hierbamina: 1 lt/ha Gesaprin: 1 lt/ha Se aplica por aspersión: mecánica y manual																								Cosecha: se realiza cuando el grano está maduro o cuando la planta tenga un 70 o 75% de materia seca.																											

Figura 4.1: Abaco productivo para el ejido de San Diego Alcalá

## Perfil 1: Paraje La Virgen



Horizonte Profundidad

Horizonte	Profundidad
Ap	0-20
Ap <sub>2</sub>	20-30
Ap <sub>3</sub> , AB	30-45
Bt	45-65
BC	65-120

Fuente: elaboración propia con base al trabajo de campo (25-01-2013)

## **Descripción del sitio**

El paraje La Virgen está constituido por un paisaje completamente agrícola, donde se comienza a visualizar el crecimiento de la mancha urbana generando una combinación entre lo rural y lo urbano.

Este sitio de estudio tiene aproximadamente 200 años de manejo continuo y hasta la fecha (de acuerdo con entrevistas a los agricultores) se ha empleado semilla criolla para el cultivo anual de las tierras. El laboreo en un inicio fue con yunta y se practicaba el riego de punta; sin embargo, a partir de unos 60 o 50 años hasta la fecha se han venido implementando algunas tecnologías agrícolas como el tractor, cosechadora y fertilizantes químicos, lo que permitió un incremento en la producción de maíz.

Anteriormente los campesinos fertilizaban sus tierras con estiércol (los que poseían rumiantes); no obstante, no les era suficiente para fertilizar todas sus parcelas -era escaso-, por lo que a partir de que entró en vigor el programa PROCAMPO se comenzó a implementar los fertilizantes químicos (UREA, 18-46), y con ello a ver mejoras en la producción del campesino.

**Tabla 4.1: Características físicas y químicas del perfil 1: Paraje la Virgen**

	Prof. (cm)	Textura	Arcillas %	Piedras (Vol %)	Color (Húmedo)	pH	MO %	AI	Humedad	Estructura tipo, tamaño, grado	Estab. agreg	Poros abundancia, tamaño forma	D.A. g/cm <sup>3</sup>	Den. Raíces finas/dm <sup>2</sup>	Límite
Perfil 1	0-20	R	46.4	0%	7.5YR 3/1	5.69, 4.40	1.4	nulo	Muy seco	Terrones muy gruesos con desarrollo muy fuerte	Alta	Pocos, medios, vesicular y canales	1.17	Finas y muchas	Claro ondulado
	20-30	R	42.4	0%	7.5YR 3/2	7.02, 4.34	1.2	nulo	Muy seco	Bloques sub-angulares finos con desarrollo fuerte	Alta	Pocos, finos, vesicular y canales	1.14	Finas y comunes	Abrupto ondulado
	30-45	CR	38.4	0%	5YR 3/2	5.86, 4.49	0.59	nulo	Levemente húmedo	Laminar de tamaño grueso con desarrollo fuerte	Media	Comunes, finos, vesicular y canales	1.21	Pocas y finas	Claro suave
	45-65	R	54.4	0%	7.5YR 4/1	6.52, 5.35	0.68	medio	Levemente húmedo	Prismática de tamaño grueso con desarrollo fuerte	—	Muy pocos, finos de tipo intersticial	1.07	Pocas y finas	Gradual suave
	65-120	R	54.4	2%	10YR 5/2	7.67, 5.87	0.11	muy alto	Húmedo	Bloques sub-angulares gruesos con desarrollo fuerte	—	Comunes, finos, intersticial y canales	1.15	Ninguna	—

Fuente: elaboración propia con base al trabajo en campo y laboratorio

## **Descripción de perfil**

Es un perfil profundo con un contenido de arcillas relativamente homogéneo, su drenado se concibe con dificultad por la textura que posee y el pH se mantiene de moderadamente ácido a muy ligeramente ácido. Los contenidos de MO decrecen con la profundidad y el grado de desarrollo de los agregados es muy fuerte lo que implica dificultades en su laboreo cuando no se realiza en el momento adecuado. Es de elevada tensión superficial que se traduce en retención de humedad y dificultad de las raíces para respirar y penetrar después de los 45 cm. Después de los 45 cm de profundidad los poros son escasos y finos o muy finos por lo que dificulta el flujo de aire y agua dentro del suelo. Entre 30 y 45 cm se incrementa la DA, lo que podría denotar la presencia de una capa de arado, que reduce el intercambio gaseoso y la retención de agua en el suelo. Cabe señalar que a partir de los 45 cm aumenta el Al, mineral tóxico para las plantas y que permite inferir en algunos procesos geológicos de formación del suelo.

## Perfil 2: Paraje Universidad



Horizonte	Profundidad
Ap	0-20
Ap <sub>2</sub>	20-35
Bt	35-65
BC	65-120

Fuente: elaboración propia con base al trabajo de campo (25-01-2013)

## **Descripción del sitio**

El paraje Universidad está situado sobre una pequeña ladera ligeramente inclinada donde se puede visualizar al oeste una Universidad, rompiendo con el esquema agrícola que se tenía en un comienzo.

Esta área de estudio de acuerdo con entrevistas a los campesinos hubo un tiempo que se cultivó (hace aprox.150 años); no obstante, se dejaron al abandono por aproximadamente 90 años y se retomaron las actividades agrícolas hace 40 o 50 años. Hasta la actualidad el manejo de esta parcela es con yunta y tractor (cuando es posible), se cultiva semilla criolla y es una parcela donde se aplica la punta de riego. Se aplica estiércol y fertilizantes químicos para proveer de nutrimentos al cultivo.

Cabe destacar que el manejo del perfil 1 junto con este es similar, ya que pertenecen al mismo agricultor; por lo tanto, emplea los mismos métodos para uno y otro.

**Tabla 4.2: Características físicas y químicas del perfil 2: Paraje Universidad**

	Prof. (cm)	Textura	Arcillas %	Piedras (Vol %)	Color (Húmedo)	pH	MO %	Al	Humedad	Estructura tipo, tamaño, grado	Estab. agreg	Poros abundancia, tamaño forma	D.A. g/cm <sup>3</sup>	Den. Raíces finas/dm <sup>2</sup>	Límite
Perfil 2	0-20	CR	38.4	5%	7.5YR 3/2	4.50 , 3.73	0.88	nulo	Seco	Terrones finos con desarrollo fuerte	Moderada	Muchos, finos y medios, canales y vesicular	1.09	Muchas y finas	Claro suave
	20-35	R	48.4	2%	7.5YR 3/3	5.11 , 3.86	1.16	nulo	Levemente húmedo	Bloques sub-angulares de tamaño medio con desarrollo moderado	Media	Muchos, finos y medios, canales y vesicular	1.1	Comunes y finas	Claro suave
	35-65	R	54.4	0%	10YR 3/1	6.57 , 5.33	0.59	bajo color rosa	Levemente húmedo	Prismática de tamaño grueso con desarrollo fuerte	—	Comunes, finos, vesicular	1.07	Comunes y finas	Gradual suave
	65-120	R	58.4	0%	10YR 5/3	7.72 , 5.74	0.20	medio	Levemente húmedo	Bloques sub-angulares de tamaño grueso con desarrollo moderado	—	Comunes, finos, intersticial y vesicular	1.1	Ninguna	—

Fuente: elaboración propia con base al trabajo en campo y laboratorio

### Descripción del perfil

Caracterizado por más del 30% de arcillas en los primeros 100 cm de profundidad, que se traduce en un suelo vertisol profundo, con un pH que va desde fuertemente ácido en los primeros horizontes hasta muy ligeramente alcalino. La cantidad de MO disminuye conforme a la profundidad, no obstante, entre los 20 a los 30 cm esta se eleva posiblemente debido a la reincorporación constante de residuos agrícolas, posee una DA baja donde a los 20 cm se puede visualizar una capa de arado, lo que dificulta el movimiento de agua y de aire. De igual forma, su estructura es muy fuerte lo que implica un difícil manejo en el arado del suelo.

### Perfil 3: Paraje Llano Grande



Horizonte	Profundidad
Ap	0-10
Ap <sub>2</sub>	10-20
B	20-40
B	40-65
BC	65-95
C	95-120

Fuente: elaboración propia en base a trabajo de campo (25-01-2013)

## **Descripción del sitio**

Representado por un paisaje exclusivamente agrícola abarcando un periodo de manejo entre los 40 y 30 años. En esta área de estudio aún se implementa el método de la quema de rastrojo que representa una actividad común para los agricultores, ya que suponen mantiene la humedad y facilita la labranza cuando se hace en el momento adecuado.

Las parcelas de esta zona de estudio son en su mayoría de temporal, lo que quiere decir que no se implementa el riego y quedan a la espera de las primeras lluvias para la siembra, aquí como en la mayor parte del ejido se siembra maíz criollo y para funciones de esta parcela utilizan fertilizantes químicos.

En muchas ocasiones el uso del tractor como maquinaria de labranza se utiliza dependiendo del tamaño de la parcela, y para este sitio de estudio la parcela es considerablemente grande (2.5 ha) implementándose con ello el tractor.

**Tabla 4.3: Características físicas y químicas del perfil 3: Paraje Llano Grande**

	Prof. (cm)	Textura	Arcillas %	Piedras (Vol %)	Color (Húmedo)	pH	MO %	Al	Humedad	Estructura tipo, tamaño, grado	Estab. agreg	Poros abundancia, tamaño forma	D.A. g/cm <sup>3</sup>	Den. Raíces finas/dm <sup>2</sup>	Límite
Perfil 3	0-10	CR	38.4	0%	10YR 3/1	5.26, 4.04	1.74	nulo	Muy seco	Terrones finos con desarrollo muy fuerte	Baja	Muchos, medios, canales y vesicular	1.13	Muchas, medianas y finas	Claro ondulado
	10-20	R	48.4	0%	10YR 3/2	5.16, 4.12	1.74	nulo	Muy seco	Terrones finos con desarrollo moderado	Media	Muchos, finos, canales	1.16	Muchas y finas	Abrupto ondulado
	20-40	R	44.4	2%	10YR 3/2	5.43, 4.20	1.36	nulo	Levemente húmedo	Bloques angulares de tamaño fino con desarrollo fuerte	Media	Muchos, finos, canales	1.05	Comunes y medias	Gradual suave
	40-65	R	52.4	2%	10YR 3/1	7.60, 5.99	0.49	nulo	Húmedo	Prismática de tamaño medio con desarrollo fuerte	—	Comunes, finos, canales	1.11	Pocas y finas	Claro suave
	65-95	CRA	26.4	0%	10YR 4/3	7.55, 6.42	0.20	muy alto morado	Levemente húmedo	Prismática de tamaño fino con desarrollo fuerte	—	Comunes, finos, canales	1.04	Pocas y finas	Gradual suave
	95-120	CRA	24.4	10%	10YR 5/2	8.49, 6.48	0.11	muy alto morado	Húmedo	Prismática de tamaño fino con desarrollo fuerte	—	Comunes, finos, vesicular	1.04	Ninguna	—

Fuente: elaboración propia con base al trabajo en campo y laboratorio

### **Descripción del perfil**

Perfil profundo que posee más del 30% de arcillas, posee un pH que va desde moderadamente ácido hasta moderadamente alcalino en los últimos horizontes, la cantidad de MO es baja, así como su DA donde se puede observar aún más alta entre los 10 a 20 cm manifestando un piso de arado. Su desarrollo es fuerte y la porosidad disminuye a partir de los 40 cm, limitando el flujo de agua y aire para la vegetación. De igual modo, la cantidad de aluminio se denota muy alta en los últimos horizontes que puede influir negativamente en el crecimiento de las plantas; de ahí que probablemente en los últimos horizontes las raíces sean casi nulas.

Perfil 4: Paraje San Mateo Alcalá



Horizonte	Profundidad
Ap	0-10
Ap <sub>2</sub>	10-15
Ap <sub>3</sub>	15-35
B	35-65
Bt	65-90
BC	90-120

Fuente: elaboración propia con base al trabajo de campo (25-01-2013)

## **Descripción del sitio**

El área de este cuarto perfil está ubicado en San Mateo Alcalá perteneciente al ejido de San Diego, está ubicado en una pequeña ladera y al norte del perfil se ubica un bordo de agua que sirve para aplicar la punta de riego a las parcelas circundantes. Como parte de la maquinaria que se emplea en esta parcela es el tractor y en ocasiones la yunta, el cultivo de esta parcela como el de la mayoría es de maíz criollo, se aplica fertilizante químico y la aplicación directa de estiércol es por medio del pastoreo.

Esta zona tiene aproximadamente de 60 a 70 años que ha tenido un manejo constante para la agricultura y el pastoreo; y es importante destacar que de acuerdo con una entrevista al dueño de la parcela este ha aplicado el subsoleo por lo menos en 1 ocasión lo que ha permitido buenos rendimientos, así mismo, argumenta que deja “descansar la tierra” por ciertos periodos.

**Tabla 4.4: Características físicas y químicas del perfil 4: Paraje San Mateo Alcalá**

	Prof. (cm)	Textura	Arcillas %	Piedras (Vol %)	Color (Húmedo)	pH	MO %	Al	Humedad	Estructura tipo, tamaño, grado	Estab. agreg	Poros abundancia, tamaño forma	D.A. g/cm3	Den. Raíces finas/dm2	Límite
<b>Perfil 4</b>	0-10	RA	38.4	0%	7.5YR 2.5/2	5.60, 4.22	1.16	nulo	Seco	Terrones finos con desarrollo fuerte	Moderada	Muchos, medios y finos, vesicular	1.04	Muchas, medianas y finas	Gradual ondulado
	10-15	R	50.8	2%	7.5YR 3/2	5.82, 4.27	0.97	nulo	Levemente húmedo	Bloques sub-angulares de tamaño medio con desarrollo fuerte	Alta	Pocos, medios, canales y vesicular	1.05	Pocas y finas	Abrupto ondulado
	15-35	R	62.8	0%	7.5YR 4/2	7.18, 5.47	0.4	nulo	Húmedo	Bloques sub-angulares de tamaño medio con desarrollo fuerte	Media	Comunes, finos, vesicular	0.94	Pocas y finas	Claro suave
	35-65	R	59.2	2%	7.5YR 4/1	7.44, 5.85	0.11	baja coloración rosa	Húmedo	Bloques angulares gruesos con desarrollo fuerte	—	Comunes, finos, intersticial	0.93	Pocas y finas	Claro suave
	65-90	R	63.2	2%	7.5YR 5/2	7.67, 5.88	0.40	baja coloración rosa	Húmedo	Bloques angulares gruesos con desarrollo muy fuerte	—	Comunes, finos, intersticial	0.95	Ninguna	Gradual suave
	90-120	R	59.2	2%	7.5YR 5/2	7.51, 5.66	0.11	alto	Levemente húmedo	Bloques sub-angulares gruesos con desarrollo fuerte	—	Pocos, finos, intersticial	0.93	Ninguna	—

Fuente: elaboración propia con base al trabajo en campo y laboratorio

### **Descripción del perfil**

Es un perfil profundo con un drenado bajo por la densidad aparente que representa; cuenta con un pH moderadamente ácido en los primeros horizontes que llega hasta ligeramente alcalino, la cantidad de MO disminuye con la profundidad, su DA es baja y se mantiene aún más baja a partir de los 35 cm, que se traduce en un desarrollo muy fuerte en su estructura impidiendo así el flujo de aire y agua, así como la densidad de raíces. La presencia de aluminio aumenta en este perfil y se encuentra a una profundidad menor en comparación con los perfiles anteriores.

## 4.1 Evaluación ecoedafológica

Para realizar un análisis más selecto y factible de comprender los resultados obtenidos, a continuación, se presenta una evaluación del suelo que se divide en dos apartados demostrando en primer plano la importancia del agua en el suelo y por otra parte la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

**Tabla 4.5: Evaluación Hídrica**

Perfil	Prof. (cm)	MO (%)	D.A. g/cm <sup>3</sup>	VPT (vol%) evaluac	CA (vol%) evaluac	dCC (L/m <sup>2</sup> ) espacio rad efec		CC (L/m <sup>2</sup> ) hasta 1 m		KI (cm/día) evaluac
Perfil 1	0-20	1.4	1.17	mediano	baja	$\Sigma$ dCC L/m <sup>2</sup> :	88	$\Sigma$ CC L/m <sup>2</sup> :	296	mediana
	20-30	1.2	1.14	mediano	baja					mediana
	30-45	0.59	1.21	mediano	baja	Evaluación	Baja	Evaluación	mediana	mediana
	45-65	0.68	1.07	alto	baja					alta
Perfil 2	0-20	0.88	1.09	mediano	baja	$\Sigma$ dCC L/m <sup>2</sup> :	97.04	$\Sigma$ CC L/m <sup>2</sup> :	311.74	alta
	20-35	1.16	1.1	mediano	baja					mediana
	35-65	0.59	1.07	alto	baja	Evaluación	mediana	Evaluación	mediana	alta
Perfil 3	0-10	1.74	1.13	mediano	baja	$\Sigma$ dCC L/m <sup>2</sup> :	132.76	$\Sigma$ CC L/m <sup>2</sup> :	431.24	mediana
	10-20	1.74	1.16	mediano	baja					mediana
	20-40	1.36	1.05	alto	baja	Evaluación	mediana	Evaluación	alta	alta
	40-65	0.49	1.11	mediano	baja					mediana
	65-95	0.20	1.04	mediano	baja					muy alta
Perfil 4	0-10	1.16	1.04	alto	baja	$\Sigma$ dCC L/m <sup>2</sup> :	103.88	$\Sigma$ CC L/m <sup>2</sup> :	340.72	alta
	10-15	0.97	1.05	alto	baja					alta
	15-35	0.4	0.94	alto	baja	Evaluación	mediana	Evaluación	mediana	alta
	35-65	0.11	0.93	alto	baja					alta

Fuente: elaboración propia con base a los resultados obtenidos por el manual (Siebe et.al. 2006).

Para la evaluación hídrica es importante retomar la MO y la DA, pues está estrechamente relacionado con el Volumen Poroso Total (VPT), la Capacidad de Aireación (CA), la capacidad de agua disponible (dCC), la Capacidad de Campo (CC) y la conductividad hidráulica (KI).

Los suelos arcillosos son suelos que poseen la capacidad de retener suficiente agua debido a las fuerzas de Van der Waals y a los puentes de hidrógeno que ejercen entre sí (Besoain, 1985), sin embargo, se vuelven complicados para su manejo cuando carecen de humedad o se saturan.

La importancia de la evaluación hídrica es para conocer el promedio de agua que necesitan estos suelos para sostener un cultivo; y así aprovechar al máximo la cantidad de agua durante la aplicación de punta de riego evitando su desperdicio y la erosión del suelo.

De acuerdo con Siebe *et.al.* (2006), Domenech & Peral (2006) los suelos arcillosos poseen un VPT en rangos medios y altos; pues el tamaño de las arcillas tienen el privilegio de formar microporos en vez de macroporos que se traduce en una mayor retención de agua; no obstante, esta característica acarrea problemas de infiltración y baja aireación trayendo como consecuencia un desarrollo medio de las plantas.

En general la capacidad de aireación en las cuatro áreas de estudio es baja y está dado por el tamaño de los poros ya que reducen el flujo de aire limitando de esta manera el desarrollo de las raíces; sin embargo, el perfil 4 en comparación con el resto de los perfiles posee un VPT alto, que indica que aún con el manejo agrícola que ha tenido sigue conservando un buen nivel de porosidad que se convierte en buena aireación e infiltración para el cultivo de maíz.

Por otro lado, a una parcela al aplicar punta de riego o al estar expuesto a una lluvia abundante, el suelo se satura llegando a tener un drenaje de deficiente a moderado sobre todo en suelos arcillosos (Siebe *et.al.* 200); por lo tanto, cuando la dCC disminuye, la escasa agua disponible se queda atrapada entre las arcillas por las fuerzas de atracción y es en ese punto donde las plantas ya no pueden disponer de esa agua entrando a un estrés hídrico. No obstante, también existe la contraparte ya que si los poros del suelo se saturan de agua el espacio que queda entre ellos es mínimo para el aire y las plantas entran al punto de marchitez permanente (PMP).

La dCC se define en base a la profundidad máxima de la que las raíces llegan a absorber agua en años secos (Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde, 1982). Tomando como referencia este concepto y comparando cada zona de estudio se menciona que el perfil 1 es el que presenta una baja cantidad de agua disponible, posiblemente debido al porcentaje de compactación (alto) y aunando a ello la textura.

Así mismo, cabe resaltar que la capacidad de campo (CC) en el perfil 3 se denota alta lo que representa un alto límite de almacén de agua, indicando que en ese perfil las plantas aún tienen un rango estable antes de entrar al PMP.

La conductividad hidráulica (KI) del perfil 2 y 4 se encuentra en un rango alto indicando que en esta zona la infiltración de agua es mayor que en el 1 y 3, esto se traduce en que las plantas llegan más pronto al PMP y se tiene que aplicar más prontamente agua para evitar entrar a un estrés hídrico.

**Tabla 4.6: Evaluación Ecológica**

Perfil	Prof (cm)	M O (%)	D.A. g/cm <sup>3</sup>	CIC Eval.	Bases Intercambiables (BI)		Nd g/m <sup>2</sup>	P mo g/m <sup>2</sup>	Potasio (K) ppm	Calcio (Ca) ppm	Magnesio (Mg) ppm
Perfil 1	0-20	1.4	1.17	alta	ΣBI molc/m <sup>2</sup> :	182.82	Nd=13.5	P=262.9	80	120	640
	20-30	1.2	1.14	mediana	Evaluación:	alta	alta	muy alta	20	180	520
Perfil 2	0-20	0.88	1.09	mediana	ΣBI molc/m <sup>2</sup> :	55.16	Nd=7.6	P=300.3	20	180	340
	20-35	1.16	1.1	mediana	Evaluación:	medianamente alta	media alta	muy alta	180	40	280
Perfil 3	0-10	1.74	1.13	mediana	ΣBI molc/m <sup>2</sup> :	96.15	Nd=20.6	P=531.8	40	20	180
	10-20	1.74	1.16	mediana	Evaluación:	medianamente alta	alta	muy alta	110	60	140
	20-40	1.36	1.05	mediana					160	80	60
Perfil 4	0-10	1.16	1.04	mediana	ΣBI molc/m <sup>2</sup> :	105.95	Nd=5.4	P=506.9	20	100	80
	10-15	0.97	1.05	mediana	Evaluación:	alta	media alta	muy alta	40	310	740
	15-35	0.4	0.94	mediana					80	480	1000

Fuente: elaboración propia con base a los resultados obtenidos por el manual (Siebe et.al. 2006) y a las pruebas de laboratorio (N, P, K, Ca, Mg), realizados en ICAMEX.

El intercambio de cationes y nutrientes en suelos arcillosos por naturaleza se considera muy favorable para fines agrícolas. Los suelos arcillosos por sus

características poseen la capacidad de retener nutrientes, pues la composición base de estos suelos son las arcillas (2:1) que poseen cargas negativas y aunado con las cargas positivas de los macronutrientes como el nitrógeno ( $N^{3+}$ ), el fósforo ( $P^{3+}$ ), potasio ( $K^+$ ), calcio ( $Ca^{2+}$ ) y magnesio ( $Mg^{2+}$ ) realizan un proporcionado intercambio de nutrientes que están disponibles para las plantas.

Al hacer mención respecto a la disponibilidad de nutrientes para las plantas, es importante describir que parte de esta disponibilidad se traduce en que tan fértil es un suelo o que fertilidad posee. Kolsman y Vazquez (1996) proponen que la fertilidad natural de un suelo es la capacidad de sostener a la planta e influir en su rendimiento que, involucrando factores como el clima, el tipo de suelo y el tipo de agricultura dan por resultado la productividad. Por otro lado, Primavesi (1982) comenta que la fertilidad del suelo es la riqueza en nutrientes; sin embargo, parte de esta riqueza natural que posee un suelo con el tiempo y el manejo se va degradando, propiciando a los productores a emplear fertilizantes químicos que sustituyan o aumenten esa fertilidad natural.

De acuerdo con los resultados obtenidos por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), existe una buena disponibilidad de nutrientes que se puede traducir en resultados de productividad, pues de acuerdo con entrevistas a los campesinos estos aun aplican una combinación entre fertilizantes químicos y orgánicos.

Es importante resaltar que de los 4 perfiles solo el 2º disminuye en cuanto a nitrógeno se refiere. En los 4 perfiles se posee una muy alta capacidad de fósforo y disminuye conforme a la profundidad.

Sin embargo, a pesar de que no hubo un análisis para determinar el grado de contaminación del suelo por fertilizantes, pesticidas o herbicidas, desde el punto de vista ambiental, se debe tener en cuenta que la adsorción de los agroquímicos en los distintos horizontes puede condicionar en algún momento el lavado de estos productos, trayendo como consecuencia la contaminación en los mantos freáticos.

#### 4.2 Fase de análisis y discusión de resultados

Conforme a las características mencionadas en el capítulo 1, en el ejido de San Diego Alcalá se poseen parcelas para fines agrícolas donde el principal cultivo es el maíz. Por las condiciones climáticas que posee en general el Valle de Toluca solo se es posible llevar a cabo un máximo dos cultivos por año; sin embargo, específicamente para la zona de estudio solo se cultiva una vez al año como se muestra en el ábaco productivo (ver resultados).

De acuerdo con la clasificación sobre los tipos de agricultura, en el ejido de San Diego Alcalá podemos encontrar de dos tipos: de temporal y de riego. Los perfiles que aplican punta de riego son el perfil 1 “Paraje la Virgen”, perfil 2 “Paraje Universidad” y perfil 4 ubicado en la localidad de San Mateo Alcalá, excluyendo el perfil 3 “Paraje Llano Grande”, que posee agricultura de temporal debido a la topografía del sitio.

El estudio de los Vertisoles maneja ciertas características que establecen de alguna manera un patrón para ubicar o caracterizar este tipo de suelos. Retomando la cartografía edafológica (capítulo II) las zonas de estudio están representadas por suelos Vertisoles, que se caracterizan por poseer más del 30% de arcillas en todos los horizontes (ISRIC, 2002).

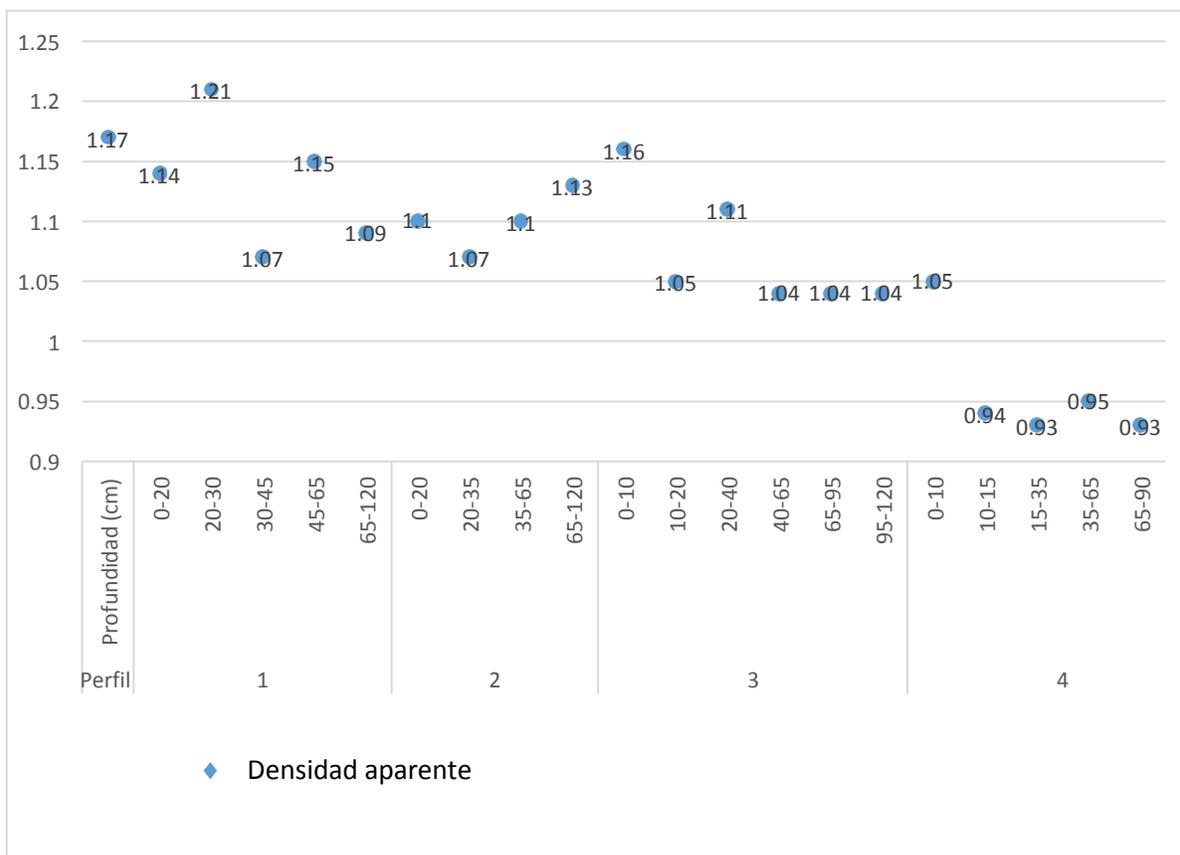
De acuerdo con INTA (1980), Rusell (1984), Duran (1985), los Vertisoles poseen cerca del 2 al 8% de MO, que comparando este parámetro con los resultados obtenidos demuestra que ciertamente estos suelos son muy pobres en MO y para los sitios de estudio se obtuvo menos del 2% en MO. No obstante, cabe aclarar que para fines agrícolas este porcentaje fluctúa dentro de lo adecuado. Con estos resultados podemos inferir que los suelos arcillosos en ambientes productivos al carecer de suficiente MO para los cultivos, es necesario aplicar productos que fertilicen los suelos y que al mismo tiempo se provea de nutrientes para las plantas, tal es el caso de los fertilizantes químicos que proporcionan nitrógeno, fósforo y potasio.

Aunque los contenidos de MO son bajos de acuerdo a Siebe *et.al.* (2006) y a los autores anteriores, es importante resaltar que no exclusivamente la fertilidad de un suelo se debe a la MO, sino también a la mezcla de macronutrientes y de balance de pH lo que ocasiona una buena fertilidad.

La degradación física de un suelo especialmente los agrícolas, está asociada con el manejo de las parcelas, afectando con ello la calidad del suelo. Pues bien, parte de esta degradación física se traduce en erosión hídrica cuando el suelo se satura por irrigación al aplicar punta de riego (flujo superficial) teniendo más de 5° como pendiente, o cuando el suelo se encuentra desnudo y el agua de lluvia impacta fuertemente en él, sin embargo, para fines de este estudio la erosión hídrica es mínima cuando se tiene un control de la irrigación, pero por otro lado con el arado de las parcelas se pierde un porcentaje significativo de partículas finas. Reeve and Hall (1978), mencionan que en esta degradación física va implícita la destrucción de la estructura del suelo, que rompe con ese desarrollo y se traduce en una alta compactación del suelo y baja porosidad del mismo, quien comparando con los sitios de estudio demuestran que efectivamente estos suelos han sufrido una alteración donde se visualiza un leve aumento en la DA originando un ligero piso de arado; que con el tiempo afecta a las plantas para absorber agua y nutrientes, así como una mayor dificultad para el desarrollo radicular de las plantas (ver tablas de la caracterización de los perfiles).

Los resultados de densidad aparente manifiestan el porcentaje en que el suelo está o no compactado por las actividades que se ejercen. La mayoría de los resultados de densidad aparente se encuentran en un rango promedio medio, donde indica que las acciones de manejo del suelo no están afectando en gran medida esta propiedad (ver grafica 3.2). Quien manifiesta una baja DA es el perfil 1 esto de 30-45 cm, detonando con ello la presencia de un piso de arado; caso contrario con el perfil 4 donde su densidad aparente es mayor en comparación con los otros resultados. A este perfil se le atribuye el tiempo de manejo (150 años) y que no se

ha implementado un subsoleo como en el caso del perfil 4, conforme a lo manifestado en entrevista con el dueño de la parcela.



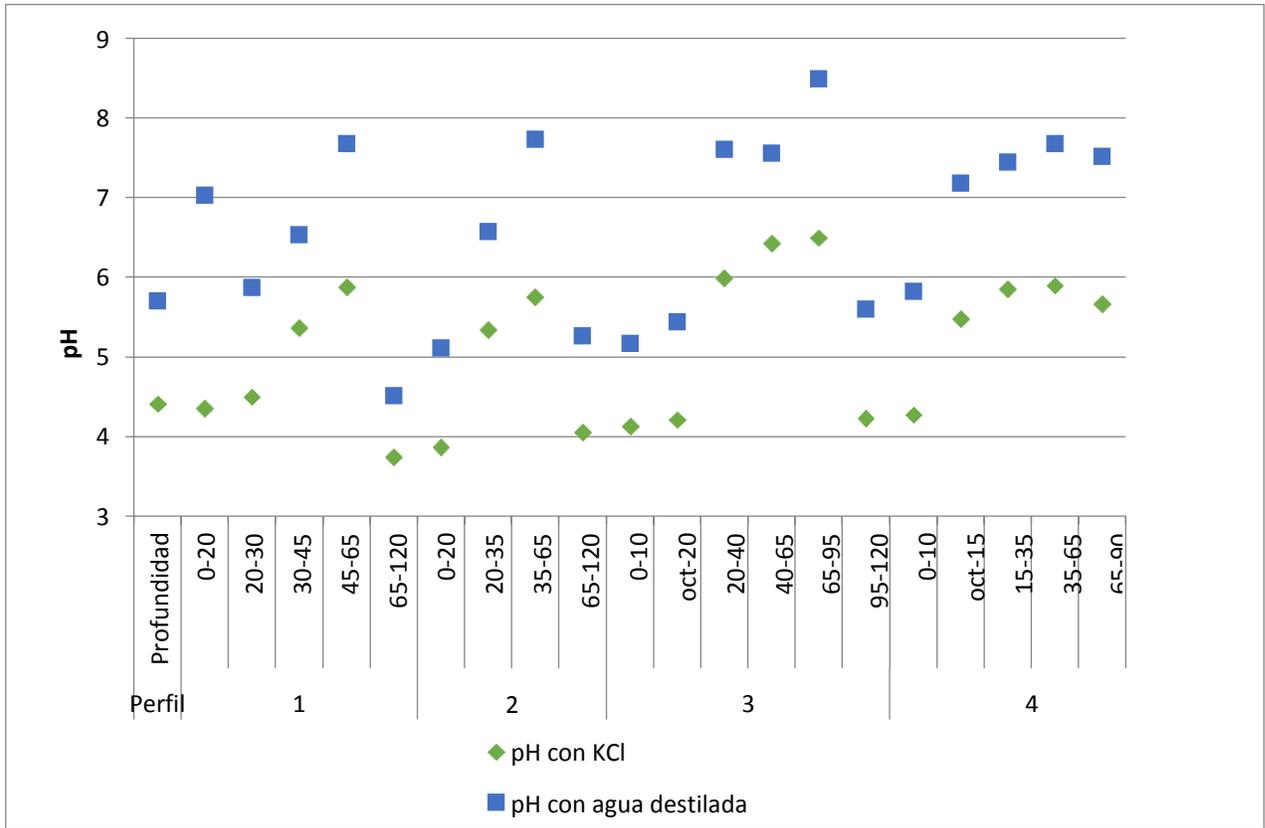
Fuente: elaboración propia con base a los resultados obtenidos de densidad aparente

**Figura 4.2: Densidad Aparente por el método de la probeta**

De acuerdo con los resultados de pH, el valor más alto corresponde al perfil 3 a una profundidad de 95-120 cm y el más bajo es el del perfil 2 a una profundidad de 0-20 cm; no obstante, cabe destacar que a esa profundidad la basicidad del suelo no afecta la vegetación que sustenta; caso contrario con el ligero grado de acidez que presenta el segundo perfil; pues ahí sí puede afectar sutilmente a la vegetación.

Como se muestra en la gráfica 4.3, y para fines de esta investigación se realizó el pH en agua y KCl, y la importancia de haber efectuado las lecturas es para conocer cuál es la capacidad buffer del suelo; que quiere decir, hasta qué grado el suelo es capaz de resistir un grado de acidez. La mayoría de los resultados de pH del suelo se encuentran en un rango de acidez neutro indicando que el suelo se encuentra en

condiciones aptas para sostener la plántula de maíz e inferir que los agroquímicos no han alterado de manera significativa este valor.



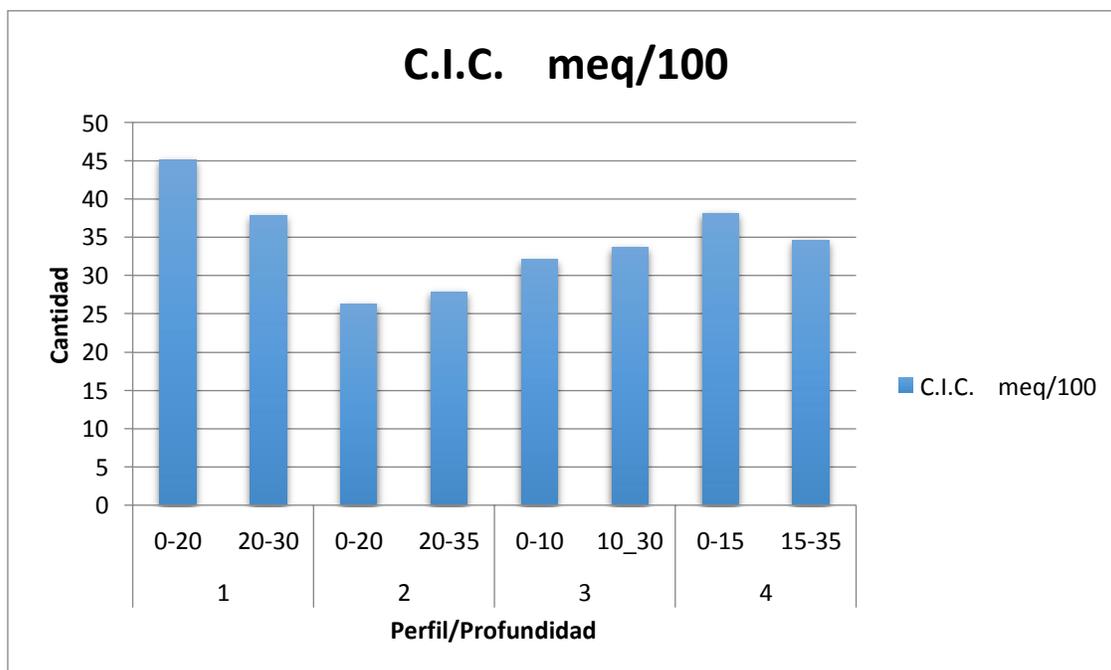
Fuente: elaboración propia con base a los resultados obtenidos de pH

**Figura 4.3: variaciones de pH en el suelo**

Sin embargo, no solo se habla de una degradación física sino también química y para efectos de la investigación de tesis solo fue preciso realizar los análisis de los primeros 30 o 35 centímetros de suelo, pues es importante para analizar los procesos en el suelo con relación a la disponibilidad de nutrientes, a la vegetación y al flujo de agua y aire.

Parte de estos procesos están dados por la capacidad de intercambio catiónico, por las bases intercambiables y por la disponibilidad de nutrientes. Como se puede observar en la gráfica 4.4, el que posee una mayor CIC es el perfil 1 a una

profundidad de 0-20 cm, caso contrario con el perfil 2 de 0-20 cm donde se observa una baja actividad de CIC. Esto puede deberse al menor grado de materia orgánica que existe en cada perfil, ya que mientras el perfil 1 a esa profundidad posee 1.4 de MO, el perfil 2 posee solo .88, por lo tanto ahí existe una diferencia considerable que bien influye en la CIC.



Fuente: elaboración propia con base a los resultados obtenidos de CIC

**Figura 4.4: representación de las variaciones de CIC en el suelo**

Parte de la calidad química del suelo está dada por las cantidades de nutrientes que están disponibles para las plantas; sin embargo, no todos los nutrientes se necesitan en la misma cantidad ya que depende del tipo de cultivo y del tipo de suelo, pues las necesidades de cada planta son diferentes y por lo tanto va a variar.

Normalmente el fósforo, potasio, nitrógeno, calcio y magnesio son los macronutrientes que se requieren en mayores cantidades por las plantas para un crecimiento óptimo, esto en comparación con los micronutrientes (Ej., Zinc, Hierro, Boro, etc.) (Aguilera Herrera, 1989). La proporción de nutrimentos también es importante, pues el exceso de un nutriente en forma aprovechable puede causar la deficiencia de otro elemento. Esto queda ilustrado por el hecho de que las

deficiencias de potasio algunas ocasiones son causadas por un alto nivel de calcio o magnesio solubles, lo que interfiere con la absorción de potasio. Por lo tanto, para fines de esta investigación y de acuerdo con los resultados obtenidos, las proporciones de macronutrientes se mantienen en un rango promedio para el nitrógeno y para el resto varía, lo que puede indicar que debido al manejo que se ha tenido puede haber acumulaciones de diferentes nutrientes en ciertos horizontes y en algunos puede ser menor la concentración, lo que bien puede influir para la absorción de otros. Así mismo, puede influir el manejo que cada agricultor le dé, ya que diferentes cultivos durante cierto periodo pueden absorber diferentes cantidades de nutrientes.

Para una buena producción de maíz es importante una buena fertilización con fósforo, sin embargo de acuerdo a los resultados y de acuerdo a los fertilizantes utilizados, esto nos indica que hay una cantidad óptima de fósforo aun cuando eso no garantiza como ya se mencionó antes, que este siendo aprovechada de manera adecuada por las plantas.

En cuanto al nitrógeno asimilable por las plantas es importante porque demuestra si en las plantas hay un exceso o un déficit de este elemento; y se manifiesta en el crecimiento de las mismas, así como en la producción. Para este caso de estudio es significativo este elemento para la producción de maíz, ya que es el elemento que más se aplica (en forma de sales) para la fertilización de los suelos; pero de haber un exceso en cuanto a su aplicación puede traer consecuencias tales como salinidad en el suelo; y de acuerdo a las visitas de campo se pudo observar que las parcelas muestreadas y en general estos suelos no presentan ese problema, pero no se descarta la posibilidad de que en algún momento pueda suceder.

## **Capítulo V: Conclusiones y Propuestas**

El suelo como parte de un sistema con entradas y salidas de energía y como un sistema productor de alimentos (maíz) está en constante dinamismo, sin embargo, al hablar de calidad de suelos agrícolas que bien influye en la producción de alimentos, es importante resaltar que no solo el suelo es el factor determinante para obtener “buenas cosechas”. Es importante resaltar que también influye el manejo que el agricultor le dé a cada parcela, influyen las condiciones climáticas que se presenten durante todo el año, las cantidades de fertilizantes nitrogenados que se apliquen, de los apoyos por parte de las instituciones de gobierno para el campesino entre otras. Por ello, uno de los principales objetivos de esta investigación fue conocer si parte de este dinamismo se ha visto afectado en algún momento determinándose a través de la calidad del suelo.

Es importante resaltar que al hablar de calidad de suelos ya sea química, física o biológica al evaluarlo determina si el suelo está entrando a una degradación, pues de acuerdo con los resultados para estos suelos se llegan a las siguientes conclusiones:

- La tecnología agrícola ha afectado la calidad del suelo; haciéndose más notoria en sus características físicas dándose a conocer en su densidad aparente (DA) que origina con ello un piso de arado en los perfiles. El peso de este tipo de maquinaria compacta el suelo afectando la porosidad del mismo, que ocasiona problemas a la producción de maíz como disminución en la velocidad de infiltración de agua, restricciones para la penetración de las raíces y baja disponibilidad de oxígeno.
- Comparando los cuatro perfiles muestreados se llega a la conclusión de que el perfil 1 “Paraje la Virgen” se encuentra con un mayor grado de degradación física, esto debido al tiempo (aproximadamente 150 años) y a las técnicas de manejo que ha tenido, manifestado en una mayor densidad aparente.

- Es importante resaltar que la metodología utilizada para la investigación se orienta con fines forestales, sin embargo, se hicieron adaptaciones para poder evaluar estos suelos agrícolas y con ello obtener datos más precisos; no obstante, hubo deficiencias sobre todo al hacer la evaluación ecoedafológica y para ello se recomienda tener el objetivo de su utilización y si es necesario combinar metodologías para lograr datos más puntuales.
- Dentro de la evaluación química del suelo y de los resultados obtenidos se puede hacer notar que las cantidades de macronutrientes disponibles se encuentran en rangos adecuados para su uso agrícola, pues los valores van de media alta a muy alta para el nitrógeno, fósforo y magnesio.
- Cabe resaltar que las concentraciones de potasio y calcio se encuentran en concentraciones menores, lo que puede indicar que hay una deficiencia de estos nutrientes, sin embargo, en cuanto a concentraciones de potasio se refiere, para el perfil 4 en comparación con el resto de los perfiles es más elevada al igual que para el perfil 3.
- Aunque no se hizo una evaluación química más detallada, dado que no era parte de los objetivos, no se descarta la posibilidad de que en algún momento el uso de agroquímicos como mata hierba o pesticidas, puedan afectar la calidad química y biológica del suelo, y con ello una contaminación a largo plazo.
- Así mismo, como parte de las entrevistas con los campesinos se concluye que hay una deficiencia de información y de capacitación al aplicar agroquímicos y fertilizantes, pues muchos de ellos aplican fertilizantes de acuerdo a su experiencia y no de acuerdo a lo que recomiendan los técnicos; trayendo consigo problemas en la saturación y pérdida de nutrientes.
- En lo que respecta a la metodología empleada en esta investigación, es importante reconocer que aunque ha sido probada con éxito para suelos forestales, para este trabajo de investigación es importante considerar la realización de mediciones más directas en cuanto a conductividad hidráulica

se refiere, pues ello mismo pudo haber dado datos más certeros de la salinidad del suelo que en algún momento se puede tener por agroquímicos.

Así mismo se considera que dentro de su calidad química tiene buenas reservas de macronutrientes y como parte de las propuestas que se tienen para conservar su calidad física y química desde el punto de vista de las ciencias ambientales son las siguientes:

- Mientras se siga con la actividad de la agricultura se tendrá la problemática del piso de arado y para ello se sugiere aplicar un subsoleo por lo menos cada 5 o 6 años, mientras la actividad sea constante.
- Se sugiere seguir conservando a los campesinos en el campo, evitar que estos dejen las actividades agrícolas y que las organizaciones gubernamentales le den la importancia al campo mexicano.
- Puesto que dentro del manejo de las parcelas del ejido se siembra maíz criollo, se recomienda a los campesinos conservar este tipo de semilla y evitar el cultivo de semillas transgénicas o mejoradas, pues el maíz criollo forma parte de la seguridad alimentaria no solo a nivel local sino nacional.
- Para el aprovechamiento y fijación de nutrimentos se sugiere una rotación de cultivos principalmente entre maíz y leguminosas que ayuden a fijar nitrógeno y así evitar el uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados.
- Como parte de la estrategia para conservar la genética del maíz, se recomienda evitar sembrar semillas mejoradas y conservar la semilla criolla, ya que forma parte de una cultura y conservar estas tradiciones es conservar nuestros recursos nativos; así mismo estas semillas criollas requieren menos sustancias químicas que aplicar para su desarrollo, pues se ha comprobado que para obtener mejores rendimientos de una semilla mejorada es necesario aplicar ciertos productos que viene como un paquete tecnológico y ambientalmente eso puede repercutir aún más en la calidad del suelo.

- Evitar el uso de mata hierba o insecticidas a base de sustancias químicas y que se usen productos más orgánicos y amigables con el medio ambiente, además de que económicamente es menos costoso.

## Bibliografía consultada

- Aguilera Herrera, N. (1989). *Tratado de Edafología de México* (Vol. 1). México D.F.: UNAM.
- Ascanio García, M. O., Morales Díaz, M., García Paredes, J. D., Bojórquez Serrano, J. I., García Calderón, N. E., & Hernández Jiménez, A. (2006). *El Suelo: fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. Nayarit: Universidad Autónoma de Nayarit.
- Astier, M., Mass, M., & Etchevers, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 605-620.
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., Del Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La Calidad del Suelo y sus Indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97.
- Bertalanffy, L. (1968). *Teoría General de los Sistemas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Besoain, E. (1985). *Mineralogía de arcillas de suelos*. San José, Costa Rica: IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Brady N, C., & Weill, R. (1996). *The nature and Properties of Soils* (11a ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall International. Inc.
- Buol S.W, e. (1990). *Genesis y Clasificación de Suelos*. México: Trillas.
- Buol W, S., Southard J, R., Graham C, R., & McDaniel A, P. (2003). *Soil Genesis and Classification* (5ta edición ed.). Ames, Iowa: Blackwell Pub. Co.
- Carter, M., Gregorich, E., Anderson, D., Doran, J., Jansen, H., & Pierce, F. (1997). *Concepts of soil quality and their significance*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science Publishers.
- Delgado, E. e. (Enero-Abril de 2010). Índice de Calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras en cuatro países de América Latina y El Caribe. *Bioagro*, 22(1), 53-60.
- Doran, J., & Parkin, T. (1994). *Defining and assessing soil quality*. Madison, WI: SSSA and ASA.
- Doran, J., Sarrantonio, M., & Liebig, M. (1996). Soil Health and Sustainability. *Advances in Agronomy*, 56-80.
- Dudal, R., & Eswaran, H. (1988). Distribution, properties and classification of vertisols. En L. Wilding, & R. Puentes, *Vertisols: Their distribution, properties, classification and management* (págs. 1-22). Texas: Texas A&M University System and Soil Management support services.
- Etchevers B., J., Hidalgo M., C., Vergara S., M., Bautista, M., Padilla C., J., Pajares M., S., & Gallardo L., J. (2009). Calidad o Salud del suelo: conceptos, indicadores y aplicación en la agricultura. En J. Lopez Blanco, & M. Rodríguez Gamiño, *Desarrollo de indicadores*

*ambientales y de sustentabilidad en México* (págs. 107-121). México D.F.: Libros de investigación: Geografía para el siglo XXI, UNAM.

- FAO. (1991). Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (Noviembre de 1999). Educación ambiental para el trópico de Cochabamba. Bolivia, Cochabamba, Bolivia.
- FAO. (2000). Manual de Prácticas Integradas de Manejo y Conservación de Suelos. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (2009). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Fisher, R. (1961). *Proposed classification of volcanoclastic sediments and rock*. GSA Bulletin.
- FitzPatrick, E. A. (1996). *Introducción a la Ciencia de los Suelos*. México, D.F.: Trillas.
- Flores Delgadillo, L., & Alcalá Martínez, J. R. (s.f.). *Manual de Procedimientos Analíticos*. México: Instituto de Geología, Departamento de Edafología, UNAM.
- García, E. (1990). *Climas* (Vol. II). México: UNAM.
- Google Earth. (2012). San Diego Alcalá, Temoaya, Estado de México, México.
- Gutierrez, N., Venialgo, C., & Gutierrez, J. (2002). *Estabilidad de agregados de un Haplustol óxico en diferentes usos*. Recuperado el 8 de Abril de 2014, de UNNE: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2002/05-Agrarias/A-021.pdf>
- Herrera Pedroza, J. N. (2011). Geografía de suelos regional: Sierra madre occidental. En P. Krasilnikov, F. J. Jiménez Nava, T. Reyna Trujillo, & N. E. García Calderón, *Geografía de Suelos de México* (págs. 271-320). México, D.F.: Facultad de Ciencias, UNAM.
- ICAMEX. (2012). *Análisis de suelo*. Metepec: Conjunto Sedagro.
- INEGI. (2010). *Compendio de Información Geográfica Municipal 2010*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el marzo de 2013, de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>
- INEGI. (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Temoaya, Estado de México, México.
- ISRIC. (2002). *Procedures for soil analysis*. The Netherlands: International Soil Reference and Information Centre, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- ITER. (2010). Sistema de Integración Territorial . Aguascalientes, Aguascalientes, Mexico.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. FAO, Roma: Informes sobre Recursos Mundiales del Suelo.
- Jaramillo J., D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín, Colombia: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.
- Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation*. New York: McGraw-Hill.
- Karlen, D., Mausbach, M., Doran, J., Cline, R., Harris, R., & Schuman, G. (1997). *Soil Quality: a concept, definition, and framework for evaluation*. E.E.U.U.: Soil Science Sociation.
- Kay, B. (1990). *Rates of change of soil structure under different cropping systems*. Adv. Soil Sci.
- Kooistra , M., & Tovey, N. (1994). *Effects of compaction on soil microestructure*. Chap 5 . En: Soane and C van Ouwerkerk: Soil Compaction in Crop Production Elsevier Science.
- Lal, R. (1999). *Soil Quality and Soil Erosion*. United States of America: Soil an Water Conservation Society.
- Larrson , W., & Pierce, F. (1991). Conservation and Enhancement of Soil Quality. *Evaluation for sustainable land Conservation and Enhancement of Soil Quality*, 175-2003.
- Munsell Color. (1990). *Munsell Soil color chart*. Baltimore.
- Narro. (1994). *Física de suelos con enfoque agrícola*. México: Trillas.
- Núñez, M. (2000). *Manual de Técnicas Agroecológicas*. México, D.F.: Programa de las Naciones unidas para el Medio Ambiente, Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.
- Núñez,Sólis, J. (2000). *Fundamentos de Edafología*.
- Oriol, A., & Valle, J. (1938). *Qué és la Ciència del Sòl*. Barcelona: Biblioteca del Pagès. D.G. Agricultura.
- Ortiz Villanueva, B. (1984). *Edafología* (4a ed.). Chapingo, México: UACH.
- Ovalles Viani, F. A. (septiembre-diciembre de 2003). *El color del suelo: definiciones e interpretación*. Recuperado el 5 de Abril de 2014, de CENIAP HOY: [www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n3/texto/fovalles.htm](http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n3/texto/fovalles.htm)
- Porta, C. J.-A. (1999). *Edafología, para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Romig, D., Garlynd, M., Harris, R., & McSweeney , K. (1995). *How farmers assess soil health and quality*. J. Soil Water Conservation.

- Schlichting, E. (1978). *Funktionen von Boden in die Okosphaere*. Stuttgart Alemania: Universidad de Hohenheim.
- SEMARNAT. (2009). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México: Compendio de Estadísticas Ambientales*. México, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Siebe, C., Bocco, G., Sánchez, J., & Velázquez, A. (2003). Suelos: distribución, características y potencial de uso. En A. Velázquez, A. Torres, & G. Bocco, *Las enseñanzas de San Juan: Investigación Participativa para el Manejo Integral de Recursos Naturales* (págs. 127-164). Mexico: INE-SEMARNAT. Recuperado el 24 de Septiembre de 2012, de <http://www.ciga.unam.mx/investigadores/zacatucho/PDF/613Capitulos%20en%20Libros/6131Nacionales/6131-18.pdf>
- Siebe, C., Jahn, R., & Stahr, K. (2006). *Manual para la Descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo* (2 ed.). Alemania: Intitut fur Bodenkunde und Pflanzenernahrung.
- SMN. (marzo de 2015). *Servicio Meteorologico Nacional*. Obtenido de [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75)
- Soil Survey Division Staff. (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys* (segunda ed.). Washington, D.C: USDA, Agriculture Handbook No. 436.
- Soil Survey Staff. (1951). *Soil Survey Manual USDA*. Washington, D.C.: Handbook No. 18.
- SQI, S. (1996). *Indicators for Soil Quality Evaluation USDA Natural Resources Conservation Service*. USA: National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service.
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2002). *Los suelos y su fertilidad* (4 ed.). España: Reverté.
- Van Gigoh J, P. (1987). *Teoria General de Sistemas* (2 ed.). México: Trillas.

# Anexos

Anexo No. 1



## Unidad de Laboratorio de Ciencias Ambientales Facultad de Planeación Urbana y Regional Formato para datos Ambientales

Autor: \_\_\_\_\_

Proyecto: \_\_\_\_\_ Perfil: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Pág. del manual	Entidad	Atributos
7	<b>Localización</b>	Localidad: Coordenadas: x y Alitud:
7	<b>Clima</b>	<b>Tipo:</b> <b>Temp.</b> <b>Prec.</b> <b>Época seca:</b> <b>Humedad exce:</b> <b>Frec:</b> <b>Duración:</b> <b>Estado del tiempo actual:</b> Soleado/despejado-Parcialmente nublado-Nublado-Lluvioso-Granizo-Nieve <b>Estado del tiempo pasado:</b> Sin lluvia-Últimas 24hrs-Última semana-Último mes-Muy lluvioso-Lluvia ligera 24 hrs.
8	<b>Uso de suelo y vegetación</b>	<b>Uso actual:</b> Urbano-Industrial-Turístico-Vegetación primaria-Vegetación secundaria-Excavación-Mina-Agricultura de riego-Temporal <b>Condición Actual:</b> Bosque primario-B.secundario-Deforestado-Arado-Irrigado-Compactado-Rellenado-Quemado-Pastoreado <b>Tipo de vegetación:</b> Manglar-Popal-Tular-Pastizal-Zacatonal-Matorral-Mezquital-Selva alta-Selva media-Bosque caducifolio-B. de encino-B. de pino encino-B de pino-B. de oyamel-Otro
8	<b>Descripción del relieve</b>	<b>Exposición:</b> N – NE – E – S – SO – O – NO – Plano <b>Pendiente:</b> Casi Plano (0-2%), Ligeramente inclinado (2-4%), Mod. Inclinado (4-9%), Fuertemente inclinado (9-18%), Escarpado moderado (18-27%), Escarpado (27-36%), Muy escarpado >36% <b>Morfología general:</b> Sierra-Montaña-Volcán- Cerro-Lomerío-Altiplano-Planicie-Meseta-Valle <b>Geoforma local:</b> Abanico aluvial-Ciénaga-Cráter-Duna-Llanura de Inundación-Meandro-Loma-Montículo-Pie de Monte-Planicie (de inundación-inclinada-denudativa-aluvial-lacustre)-Planicie con lomeríos-Lomeríos-Llanura costera-Pantano-Otro <b>Unidad de relieve:</b> Superficie cumbre-Hombro de ladera-Ladera (cóncava-convexa-extendida-compleja-ondulada)-Pie de ladera-Fondo de valle.
11	<b>Evidencias de erosión</b>	<b>Evaluación:</b> Sin erosión – Ligera – Moderada – Severa – Extremo <b>Tipo: a) Hídrica</b> (laminar-por surcos-cárcavas-túneles-movimiento en masa), <b>b) Eólica</b> (depósitos de arena-sales) <b>Efecto:</b> pérdida de horizonte superficial <25%, 25-75%, >75%, pérdida total
12	<b>Material parental</b>	<b>Depósitos:</b> Aluvión-Coluvión-Lacustre-Eólico-CenizaVolcánica-Piroclástico-Pomex-Roca consolidada <b>Roca ígnea:</b> Granito-Riolita-Diorita-Andesita-Gabro-Basalto-Periodita <b>Roca sedimentaria detrítica:</b> Lutita-Limolita-Arenisca-Brecha-Conglomerado <b>Roca sedimentaria química:</b> Calcita-Dolomita-Evaporita-Travertino-Yeso-Otra <b>Roca metamórfica: a) Foliada</b> (pizarra-filita-esquistos-gneis), <b>b) No foliada</b> (mármol-cuarcita)
39	<b>Drenaje superficial</b>	Excesivo – Bueno – Moderado –Deficiente – Muy deficiente
16	<b>Pedregosidad superficial</b>	<b>Tamaño:</b> Pequeño – Mediano – Grande – Muy Grande <b>Tipo:</b> Gravas (finas-medias-gruesas), Piedras, Cantos rodados (finos-medios-gruesos), Fragmentos de roca, Lapilli, Bombas y bloques

		<b>Cobertura:</b> 0-2%, 2-5%, 5-15%, 15-40%, 40-80%, >80%
23	<b>Encostramiento</b>	<b>Grosor:</b> Ninguno, <2mm, 2-5mm, 5-20mm, >20mm <b>Consistencia:</b> Ligeramente duro – Duro – Muy duro – Extremadamente duro
24	<b>Grietas superficiales</b>	<b>Ancho:</b> <1 cm, 1-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm, >10 cm <b>Profundidad:</b> <2 cm, 2-10 cm, 10-20 cm, >20 cm
	<b>Presencia de sales</b>	<b>Cobertura:</b> Ninguna (0-2%), Bajo (2-15%), Moderado (15-40%), Alto (40-80%), Dominante (>80%) <b>Espesor:</b> Ninguno, Delgado (<2mm), Medio (2-5mm), Grueso (5-20mm), Muy grueso (>20mm)
38	<b>Conductividad hidráulica en superficie</b>	<b>Método de campo:</b> <b>Cm/hora</b>
31	<b>Tipo de humus</b>	Mull: (Of) – Ah                      Moder: L - (Of) – Oh – Ah                      Mor: L – Of – Oh – (Ah)
	<b>Comentarios</b>	

Autor: \_\_\_\_\_ Perfil: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Horizonte	Profundidad	Pág. del manual	Datos morfológicos
		17	<b>Color:</b>
		14	<b>Textura:</b> Arena-Areno franco-Franco arenoso-Franco arcillo arenoso-Franco limoso-Limoso-Franco arcilloso-Franco-Arcillo arenoso-Arcillo limoso-Arcilloso <b>Consistencia:</b> En seco (suelto-suave-ligeramente duro-duro-muy duro-ext.duro) En húmedo (suelto-muy friable-friable-firme-muy firme) <b>Adhesividad:</b> No adherente - Lig. Adherente – Adherente - Muy adherente <b>Plasticidad:</b> No plástico - Lig. Plástico – Plástico - Muy Plástico
		21	<b>Humedad actual:</b> Muy seco-Seco-Levemente húmedo-Húmedo-Saturado-Muy mojado
		22	<b>Estructura:</b> Granula-Migajón-Bloques subangulares-Bloques angulares-Laminar-Prismática-Masiva-Terrones. <b>Desarrollo:</b> Débil – Moderado – Fuerte – Muy fuerte <b>Tamaño:</b> Fino (5-10mm), Medio (10-20mm), Grueso (20-50mm), Muy grueso (>50mm)
		16	<b>Pedregosidad:</b> Ninguna-Pocos(0-2%)-Comunes (5-15%)-Muchos (15-40%),Abundantes (40-80%), Dominante (>80%). <b>Clasificación:</b> Gravas finas (2-6mm),Medias (6-20mm), Gruesas (20-60mm), Piedras (60-200mm), Cantos (200-600mm), Cantos grandes (>600mm). <b>Forma:</b> Planos- Angular-Subredondeado-Redondeado. <b>Intemperismo:</b> Fresco-Intemperizado-Fuertemente Intemperizado.
		25	<b>Porosidad:</b> Tipo (intersticial-vesicular-canales). <b>Tamaño:</b> Finos (0.5-2mm), Medios (2-5mm), Gruesos (5-20mm). <b>Abundancia:</b> Ninguno, Muy pocos (1-2), Pocos (2-5), Comunes (5-20), Muchos (>20)
		26	<b>Raíces:</b> <b>Tamaño:</b> Finas (<2mm), Medias (2-5mm), Gruesas (>5mm). <b>Abundancia:</b> Ninguna, Pocas (1-2), Comunes (5-20), Muchas (>20).
		23	<b>Rasgos pedológicos:</b> Revestimientos – Cementación – Nódulos - Afloramiento de sales - Oxido-reducción-Superficies de deslizamiento- Aluminio activo. <b>Descripción:</b>
		25	<b>Estabilidad de agregados:</b> Muy alta – Alta – Mediana – Moderada – Baja – Muy baja
		26	<b>Densidad Aparente:</b> Valor <b>g/cm<sup>3</sup></b> <b>Evaluación:</b> Alta – Mediana – Baja

			<b>Rasgos de actividad biológica:</b> Artefactos-Madrigueras-Carbón-Canales de lombrices-Crotobinas, Otros
		27	<b>Límite:</b> a) <b>Distinción:</b> Abrupto (0-2cm), Claro (2-5cm), Gradual (5-15cm), Difuso (>15cm) b) <b>Topografía:</b> Suave – Ondulado – Irregular – Fracturado
		23	<b>Moteados:</b> Color: <b>Abundancia:</b> Pocos-Comunes- Muchos-Abundantes <b>Tamaño:</b> Finos (2-6mm), Medios (6-20mm), Gruesos (>20mm)
		21	<b>Contenido de carbonatos:</b> No hay reacción – Ligera – Moderada – Fuerte – Muy fuerte
		19	<b>Salinidad:</b> Sin exceso (0-4dS/m), Ligeramente (4-8dS/m), Moderadamente (8-16dS/m), Fuertemente (>16dS/m),
		18	<b>pH:</b> <b>Penetrabilidad (Kg/cm<sup>2</sup>):</b>
			<b>Comentarios:</b>

## Anexo fotográfico



Funte: toma propia 19-02-2013  
Apertura de perfiles de acuerdo a la  
orientacion del sol



Funte: toma propia 25-01-2013  
Equipo de trabajo: tesistas, servicio social,  
campesinos y profesores



Funte: toma propia 19-02-2013  
Descripcion de perfil



Funte: toma propia 25-01-2013  
Obtencion de muestras de los horizontes del  
perfil con nucleador



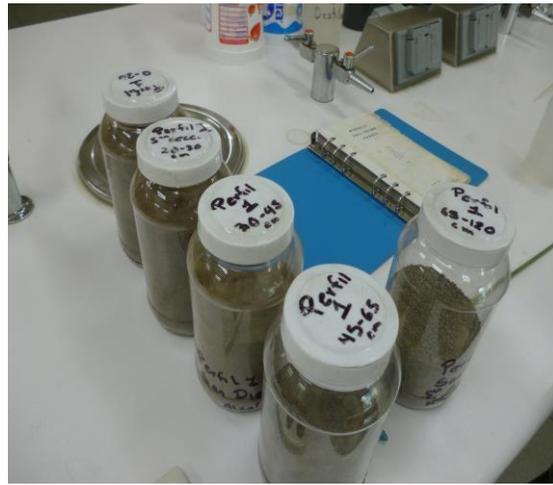
Funte: toma propia 19-02-2013  
Migracion de arcillas a los 70 cm en el perfil 3  
Paraje Llano Grande



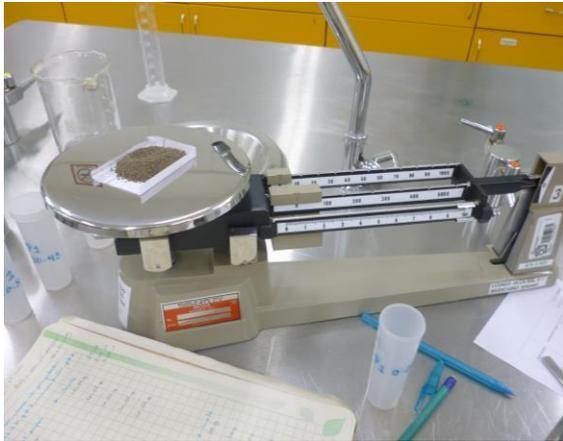
Funte: toma propia 25-01-2013  
Estructura angular del perfil 1



Funte: toma propia 25-01-2013  
Obtencion de muestras secundarias de suelo  
con barrena



Funte: toma propia 02-07-2013  
Envasado y etiquetado de muestras tamizadas  
para análisis posteriores



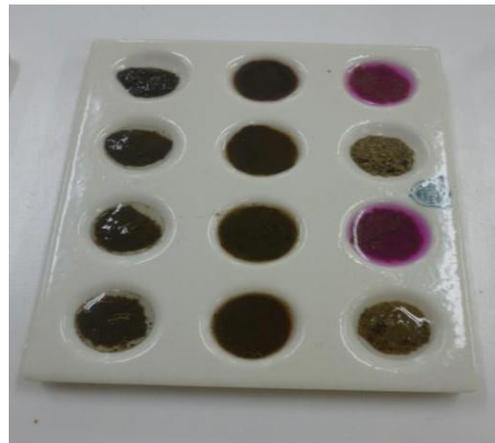
Funte: toma propia 08-07-2013  
Peso de muestras como parte del proceso de análisis



Funte: toma propia 08-07-2013  
Lectura de pH con agua destilada y con KCL



Funte: toma propia 02-07-2013  
Determinación de color en seco y húmedo con las tablas Munsell



Funte: toma propia 11-07-2013  
Determinación de alófanos y aluminio con fenoltaleina, ácido clorhídrico y cloruro de sodio. La coloración rosa indica la presencia de alófanos



Fuente: toma propia 12-07-2013  
Trabajo en la campana de extraccion como parte de los procesos para obtener materia organica



Fuente: toma propia 12-07-2013  
Lectura para la obtencion de materia organica por el metodo de Walkley y Black



Fuente: toma propia 30-08-2013  
Proceso de agitacion para la separacion de arcillas para la obtencion de texturas



Fuente: toma propia 30-08-2013  
Determinacion de texturas por el método de Bouyoucos



Fuente: toma propia 30-08-2013  
 Cilindros en reposo para la obtención de lecturas de textura



Fuente: toma propia 17-07-2013  
 Peso inicial para determinar DA por el método de la probeta



Fuente: toma propia 17-07-2013  
 Proceso para la obtención de densidad aparente



Fuente: toma de Juan Leonides Alcantara hace aprox. 25 años  
 Arado de la tierra con tractor



Funte: toma propia 29-03-2015  
Irrigación de las parcelas a través de la aplicación de punta de riego



Funte: toma propia 26-04-2014  
Siembra de parcelas con yunta (técnicas tradicionales)



Funte: toma propia 22-05-2014  
Planta del maíz en desarrollo temprano



Funte: toma de Juan Leonides Alcantara hace aprox 13 años  
Saturación de agua en el suelo que se manifiesta con la plántula amarilla



Funte: toma propia 26-05-2013



Funte: toma propia 21-05-2015

Actividad tradicional en el campo sustituida por maquinaria agrícola



Funte: toma propia 25-08-2012  
Pastoreo de animales (ruminantes) en terrenos baldíos

Fertilizante químico (urea, P18-N45) mezclado con abono orgánico (estiércol)



Funte: toma Juan Leonides Alcantara hace aprox 20 años  
Herramientas del tractor para el campo agrícola en espera de ser utilizadas para la próxima siembra



Funte: toma propia 25-07-2013  
Desarrollo medio del maíz en proceso (Jilote: mazorca de maíz tierna y lechosa, cuando sus granos no han cuajado todavía)



Funte: toma propia 25-07-2013  
Desarrollo del maíz en proceso de espigación



Funte: toma propia 25-08-2012

Especie invasora del maíz (tehozintle) que  
contamina las parcelas



Funte: toma propia 25-08-2012

Chayotillo, maleza que invade la planta del  
maíz evitando su crecimiento y desarrollo y es  
combatida con matahierba